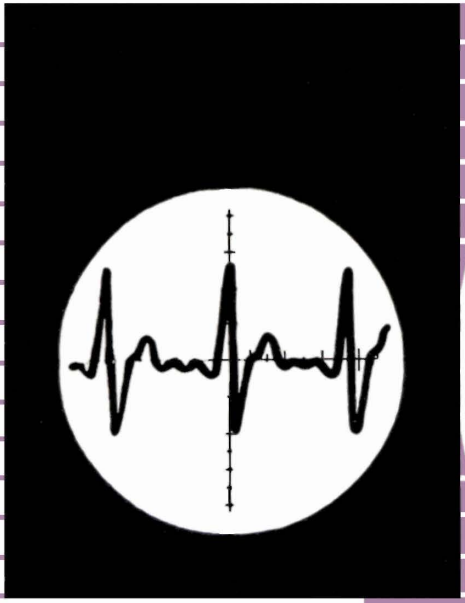
QUADERNI di Elettronica 1 E

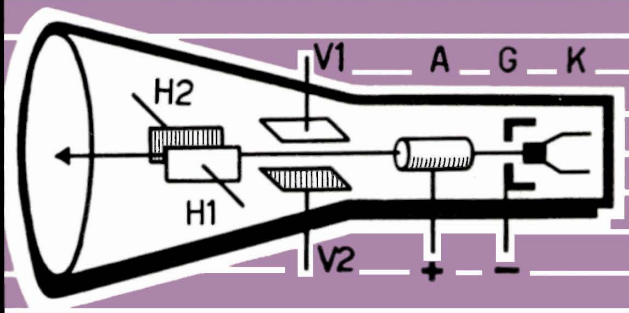
A. BANDINI BUTI - V. RE

OSCILLOSCOPIO A RAGGI CATODICI

COSTITUZIONE ED IMPIEGO PRATICO

V EDIZIONE





EDITORIALE DELFINO - MILANO

Seguendo costantemente le norme CEI, le opere della **EDITORIALE DELFINO** *facilitano la formazione professionale nella scuola e nell'industria.*

DISEGNO ELETTROTECNICO

G. Del Monaco - **Schemi elettrici - Convenzioni per impianti di energia.**
G. Del Monaco - **Schemi elettrici funzionali.**
G. Del Monaco - **Atlante dei circuiti.**
G. Del Monaco - **Disegno elettrotecnico ed elettromeccanico.**

MISURE ELETTRICHE

E. Cometta - L. Cibrario - **Unità di misura.**
E. Cometta - **Riduttori di misura.**
C. Clerici - **Illuminotecnica: principi di fotometria** (II edizione).
E. Cometta - **Misura delle temperature.**
A. Bandini Buti - **I nomogrammi per l'elettrotecnico.**
A. Bossi - E. Coppi - **Metodi di misura nei circuiti a corrente continua.**
A. Bandini Buti - M. Bertolini - **Misure elettriche: strumenti e metodi di misura.**
A. Bandini Buti - M. Bertolini - **Prove e collaudi delle macchine e degli impianti.**
A. Bandini Buti - **Elettrotecnica pratica: misure elettriche.**
A. Bossi - **La tecnica delle prove ad impulsi.**
D. Armanini - A. Bandini Buti - **Teoria e tecnica delle misure elettriche.**

MACCHINE ELETTRICHE

E. Carbone - **Costruzione e calcolo dei piccoli trasformatori**
M. Rossini - **Progettazione e calcolo dei motori asincroni trifasi di piccola e media potenza.**
M. Bertolini - **Motori elettrici di piccola e piccolissima potenza.**
F. Pezzoli - V. Re - **Protezione delle macchine elettriche.**
P. L. Cerato - **Gruppi Ward Leonard: composizione, funzionamento, realizzazioni elettroniche, applicazioni.**
A. Bandini Buti - **Elettrotecnica pratica: macchine elettriche.**

MATEMATICA

A. Bandini Buti - **La matematica per l'elettrotecnico - Algebra e trigonometria.**
A Bandini Buti - **La matematica per l'elettrotecnico - Geometria piana e solida - Diagrammi - Geometria analitica - Vettori.**
A. Bandini Buti - **La matematica per l'elettrotecnico - Logaritmi - Regolo calcolatore - Numeri normali - Calcolo differenziale.**

segue in terza di copertina

ALBERTO BANDINI BUTI - VITTORIO RE

OSCILLOSCOPIO A RAGGI CATODICI

COSTITUZIONE ED IMPIEGO PRATICO

EDITORIALE DELFINO - MILANO

V EDIZIONE

Copyrigt 1973 by

©

EDITORIALE DELFINO - MILANO

973 Unione Tipografica - 20122 Milano - Via Pace 19

INTRODUZIONE

L'oscilloscopio a raggi catodici, definito a ragione strumento di misura universale, è divenuto ormai indispensabile non solo nella ricerca scientifica, ma in tutti i laboratori di misura, di riparazione degli apparecchi radio, nelle officine meccaniche, ecc. Ciò è dovuto alla vasta gamma di applicazioni alle quali si presta questo apparecchio, applicazioni che vanno ogni giorno più estendendosi. E noto infatti che gli oscilloscopi sono apparecchi destinati a rendere visibile, o registrare fotograficamente, le curve di variazione (nel tempo) di grandezze elettriche rapidamente variabili.

Fra i vari tipi di strumenti elettrici, gli oscilloscopi possono definirsi strumenti « universali » poichè, con opportuni accorgimenti, è possibile effettuare qualunque genere di misura, ossia misurare o registrare non solo fenomeni elettrici periodici od aperiodici in elettrotecnica, radiotecnica (misure di corrente, tensione, frequenza, ecc.), bensì fenomeni meccanici riducibili ad elettrici (misure di pressioni, urti, vibrazioni, ecc.).

Accenniamo pure ad altre applicazioni: in chimica per lo studio delle reazioni a decorso veloce ed in acustica per la determinazione della sonorità dei locali.

In relazione al principio sul quale sono basati si suddividono in:

a) oscilloscopi elettrodinamici, od a specchio;

b) oscilloscopi a raggi catodici.

Fra i due tipi accennati la tecnica moderna si è orientata in modo particolare verso gli oscilloscopi a raggi catodici in quanto presentano indubbi pregi, come avremo modo di notare diffusamente in seguito.

CAPITOLO I

OSCILLOSCOPI ELETTRODINAMICI

Sostanzialmente sono simili ai galvanometri a vibrazione.

Fra le espansioni di un potente magnete permanente (fig. 1) sono disposti due fili paralleli formanti una spira.

I fili sono tesi da un sistema di molle atte a compensare eventuali dilatazioni in modo da garantire una costante tensione meccanica.

Fra i due fili è disposto uno specchietto *S* il quale riceve il raggio luminoso dalla lampada *L* e lo riflette sullo schermo traslucido *P*.

Sono note le azioni elettrodinamiche cui è sottoposto un conduttore

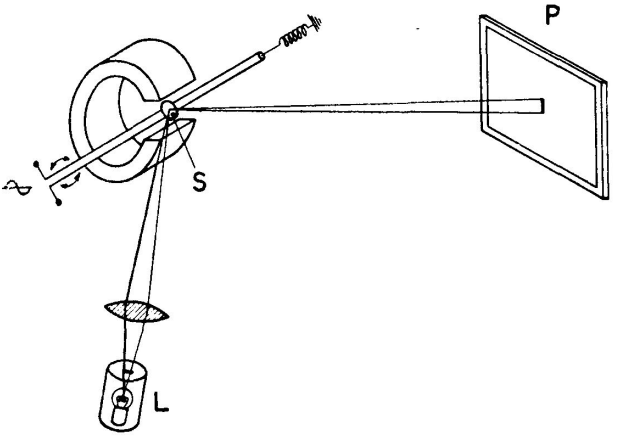


Fig. 1 - Schema di principio di un galvanometro a vibrazione.

P – Specchietto fissato ai due fili costituenti la spira, quest'ultima disposta fra le espansioni di un magnete permanente

L – Lampada ad incandescenza, con relativo sistema ottico per la concentrazione del raggio luminoso

P – Schermo traslucido sul quale si proietta l'immagine.

percorso da corrente ed immerso in un campo magnetico: così se facciamo percorrere la spira da corrente continua, questa ruoterà, attorno al suo asse, di un angolo α proporzionale all'intensità della corrente che attraversa la spira (fig. 2 *a*).

Se la spira è percorsa invece da corrente alternata, lo specchio oscillerà alternativamente a destra ed a sinistra con ampiezze proporzionali ai valori istantanei della corrente. Sullo schermo apparirà una linea retta (fig. 2 *b*).

Fino a questo punto lo strumento non si differenzia dal comune galvanometro a vibrazione. Se, ad esempio, si vuol osservare l'andamento di una corrente alternata, affinchè questa sia visibile sullo schermo è necessario

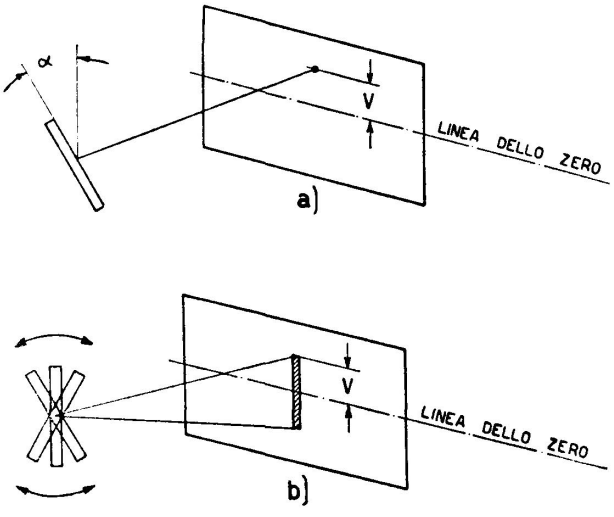


Fig. 2 - Immagini sullo schermo traslucido in relazione alla corrente che attraversa la spira. Se la spira è percorsa da corrente continua (fig. *a*) subirà una deviazione α rispetto l'asse primitivo, deviazione che è proporzionale all'intensità di corrente: sullo schermo apparirà un punto e la distanza di questo dalla linea dello zero indicherà, previa taratura, il valore della corrente o della tensione V (ricordiamo che tutte le misure di tensione si riducono, in effetti, a misure di corrente). Facendo percorrere la spira da corrente alternata (fig. *b*), lo specchietto entrerà in vibrazione e l'ampiezza delle vibrazioni sarà proporzionale alla corrente che percorre la spira; sullo schermo si proietterà una linea.

introdurre un nuovo elemento: *il tempo*. E' necessario, in altri termini, fare in modo che il pennello luminoso si sposti perpendicolarmente alla direzione dei valori istantanei. Sincronizzando i due movimenti, il punto luminoso traccerà sullo schermo la curva della grandezza in esame, che sarà visibile per la persistenza delle immagini sulla retina.

Il movimento *tempo* viene realizzato interponendo fra lo specchietto S e lo schermo P uno specchio prismatico ruotante R. Un motorino sincrono aziona lo specchio prismatico (per realizzare una velocità *costante*).

La frequenza di alimentazione del motorino deve essere uguale o multipla della frequenza della grandezza in esame.

L'asse di rotazione è disposto a 90° rispetto la direzione delle oscillazioni dello specchietto *S* (fig. 3).

Per ridurre al minimo possibile le cause di deformazione della curva è necessario curare al massimo la costruzione meccanica di ogni singola parte dell'oscilloscopio.

Particolare cura va posta nell'esecuzione dell'equipaggio mobile (spira con specchietto) per il quale è necessario ridurre al minimo ogni resistenza

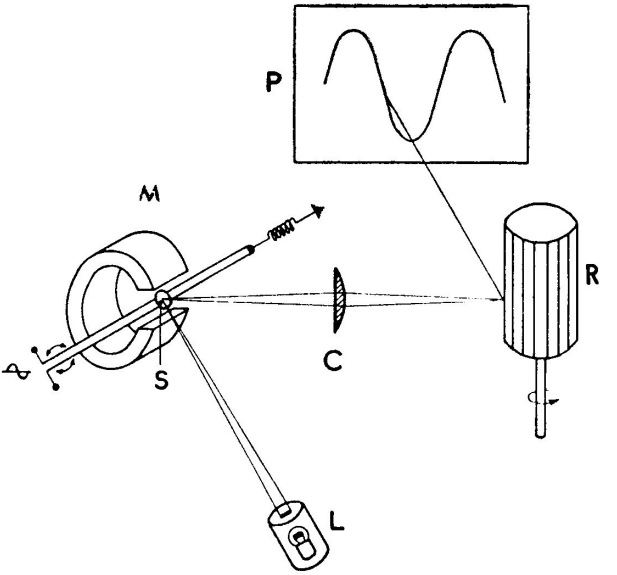


Fig. 3 - Schema di principio di un oscilloscopio a vibrazione.

S - Specchietto
L - Lampada
M - Magnete permanente
C - Condensatore ottico
R - Specchio prismatico rotante
P - Schermo traslucido

passiva affinchè questo possa seguire fedelmente tutte le variazioni della grandezza in esame. Deve avere inoltre un *energico smorzamento*, smorzamento che si può realizzare immergendo il complesso in olio di paraffina purissimo (1). Questa particolarità è necessaria per evitare che l'equipaggio

(1) L'uso dell'olio di paraffina fa aumentare, per rifrazione, del 30% circa la divergenza del raggio luminoso.

mobile, per effetto di inerzia, superi il valore massimo di oscillazione. In altri termini il periodo di oscillazione deve essere molto breve (1/500 di secondo). Occorre infine un trascurabile coefficiente di autoinduzione per non generare deformazioni nella forma d'onda in esame.

La spira può essere costituita da una fibra di quarzo o di vetro metalizzati (oro od argento); altri costruttori preferiscono il filo di platino. Il diametro è dell'ordine di grandezza del micron (0,02 mm).

Come abbiamo accennato, lo specchio prismatico deve essere alimentato da un motorino sincrono la cui frequenza di alimentazione deve essere uguale o multipla della grandezza in esame. Se non si realizza questa condizione l'immagine manca della necessaria *fissità* per una buona osservazione. E' necessario quindi munire gli apparecchi di dispositivi mediante i quali sia possibile variare gradualmente la frequenza fino a raggiungere la voluta *fissità* dell'immagine.

CAPITOLO II

IL TUBO A RAGGI CATODICI

Gli oscilloscopi a raggi catodici basano il loro funzionamento sulla possibilità di deviare un fascio elettronico per mezzo di campi elettrici o magnetici, comandati dalla grandezza elettrica da visualizzare. Gli elettroni sono generati da un catodo, accelerati dalla d.d.p. esistente fra questo e l'anodo, deviati dai campi e infine giungono sullo schermo fluorescente.

I loro pregi fondamentali si possono così riassumere:

— *elevata sensibilità*, che si può ottenere grazie all'impiego di amplificatori elettronici. In tal modo si possono avere sullo schermo delle immagini ampie con tensioni del segnale molto piccole;

— *assenza d'inerzia*, che è tipica di tutte le apparecchiature elettroniche e costituisce uno dei principali vantaggi rispetto ai sistemi meccanici. Oltre ad aumentare la fedeltà è possibile registrare fenomeni di frequenza molto elevata, fino all'ordine dei megahertz;

— *robustezza meccanica*, dovuta all'assenza di organi meccanici in movimento, che limitano ad esempio le possibilità di impiego dei galvanometri più sensibili quando debbano essere trasportati di frequente;

— *possibilità di non prelevare energia dal circuito in esame* poichè, grazie agli amplificatori, essa è fornita dalla rete di alimentazione dell'oscilloscopio, eliminando una causa di distorsioni o perturbazioni;

— *facilità di misura a distanza*, per la quale basta effettuare un collegamento elettrico per trasmettere una tensione;

— *possibilità di esaminare a fondo ogni fenomeno* ottenendo delle indicazioni più esaurienti di quelle fornite dai normali strumenti indicatori ad indice mobile.

In particolare, l'assenza di inerzia del fascio elettronico è tale da consentire la registrazione di fenomeni transitori rapidissimi per cui le applicazioni alle quali si presta sono innumerevoli.

Un oscilloscopio si compone di una ampolla di vetro T (fig. 4) di

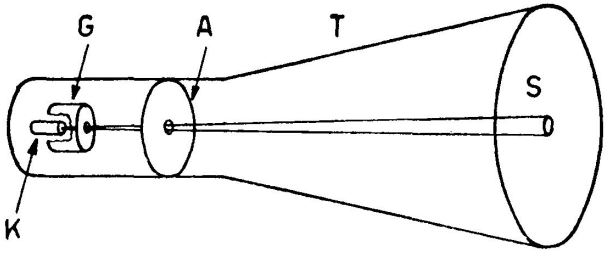


Fig. 4 - Alcuni elementi essenziali di un tubo oscilloscopico.

T - Ampolla di vetro
K - Catodo
G - Griglia
A - Anodo
S - Schermo

forma caratteristica, nella quale è praticato un vuoto molto spinto. Gli elettroni sono emessi dal catodo K e passando attraverso il piccolo foro dell'anodo A, che ne aumenta la velocità, colpiscono il centro dello schermo S. Lo schermo, essendo rivestito di materia fluorescente (solfuro di zinco, tungstato di calcio), si illumina nella zona colpita dal fascio elettronico.

La luminosità è data dalla trasformazione dell'energia cinetica degli elettroni in energia luminosa. L'elettrone parte del catodo, attraversa l'anodo ed acquista una certa velocità v.

L'energia cinetica E_c immagazzinata dall'elettrone è data dalla nota relazione:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

essendo m la massa e v la velocità dell'elettrone.

L'energia cinetica è uguale all'energia comunicata all'elettrone di carica e dalla tensione anodica V_a:

$$V_a \cdot e = \frac{1}{2} mv^2.$$

Da questa eguaglianza ricaviamo la velocità dell'elettrone, velocità che esso conserva inalterata dall'anodo allo schermo:

$$v^2 = 2 \frac{e}{m} V_a$$

Poichè il termine e/m si può ritenere costante, dalla relazione risulta che la velocità degli elettroni è in funzione della tensione anodica V_a. Appare evidente fin d'ora come essa sia una delle grandezze caratteristiche nei tubi a raggi catodici. Questa formula non tiene conto della correzione

relativistica, la quale d'altra parte non è indispensabile poichè l'energia fornita agli elettroni non è sufficiente per dare un valore apprezzabile a tale fattore.

Coppie di placche di deflessione.

Fin qui rientriamo ancora nel quadro di un normale tubo di Braun. Dove il tubo a raggi catodici per oscilloscopi si stacca dal tubo suddetto è per l'applicazione degli elettrodi deviatori o di altri dispositivi destinati alla registrazione della grandezza da misurare e di tutti gli altri dispositivi atti a rendere la visione più netta e precisa.

a) *Placche di deflessione verticale.* — Fra lo schermo e l'anodo si trovano due coppie di elettrodi o placche metallici i cui assi sono disposti a 90° fra loro (fig. 5).

Alimentando le placche verticali con una tensione continua od alternata, si stabilirà fra di esse un campo elettrico il quale devierà il

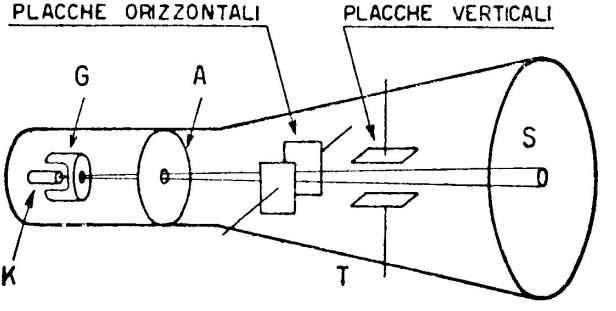


Fig. 5 - Lo stesso tubo illustrato nella fig. 4, ma completato con le placche deflettrici.

fascio elettronico dalla sua traiettoria rettilinea di un angolo la cui ampiezza è funzione dell'intensità del campo generatosi fra le placche. Infatti, se fra i due elettrodi (distanti fra loro d) applichiamo una tensione continua di potenziale V_p, si forma un campo elettrico di intensità (fig. 6):

$$B = \frac{V_p}{d}$$

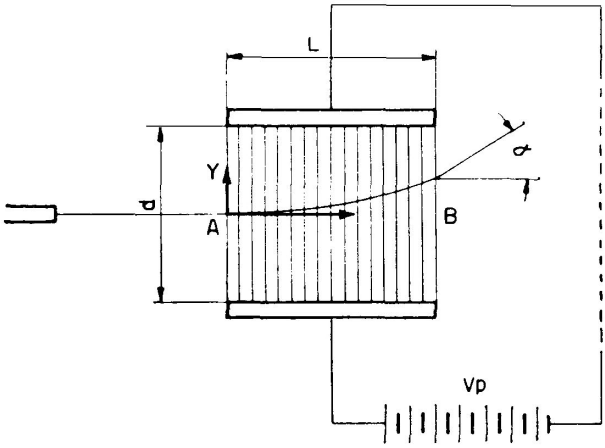


Fig. 6 - Rappresentazione schematica della deflessione del pennello elettronico sotto l'influenza del campo elettrico creatosi fra due placche.

L – Lunghezza della coppia di placche
d – Distanza fra le placche
A, B – Direzione del fascio elettronico, qualora fra le placche non esista alcuna differenza di potenziale
Y – Forza di attrazione, tendente a far deviare il fascio elettronico dalla direttrice AB
α – Angolo di deflessione del fascio elettronico sotto l'influenza delle due forze
V_p – Differenza di potenziale applicata alle placche deflettrici

In questo campo un elettrone di carica e e massa m è soggetto ad una forza trasversale F che è funzione dell'intensità del campo B creatosi fra le placche:

$$F = B \cdot e$$

ed è sollecitato da una accelerazione a:

$$a = \frac{F}{m} = B \frac{e}{m} = \frac{V_p}{d} \frac{e}{m}.$$

Analizziamo ora il comportamento di un elettrone nel percorrere lo spazio corrispondente alla lunghezza l delle placche. Dall'istante in cui l'elettrone, animato dalla velocità v, entra nel campo elettrico B è sollecitato da due moti, uno uniforme (longitudinale) ed uno uniformemente accelerato (trasversale). Se per percorrere lo spazio AB l'elettrone impiega un tempo t avremo:

$$\text{longitudinalmente} \qquad l = vt \tag{1}$$

$$\text{trasversalmente} \quad y = \frac{1}{2} at^2. \tag{2}$$

L'equazione della traiettoria percorsa dall'elettrone si otterrà con semplici passaggi. Infatti dalla relazione (1):

$$t = \frac{l}{v} \qquad t^2 = \frac{l^2}{v^2}$$

sostituendo nella (2) il valore t^2 avremo:

$$y = \frac{1}{2} a \frac{l^2}{v^2} \tag{3}$$

ma:

$$\frac{1}{2} \frac{a}{v^2} = K \text{ (costante)}$$

per cui: $$y = Kl^2$$

quindi la traiettoria percorsa dall'elettrone, attraverso le placche, è una parabola.

Ritornando alla (3) e sostituendo ad a il suo valore avremo:

$$y = \frac{1}{2} \frac{V_p}{d} \frac{e}{m} \frac{l^2}{v^2} .$$

Poichè i fattori d, v, l, e, m sono costanti rispetto al campo elettrico, (conglobabili pertanto in una sola costante C), possiamo scrivere:

$$y = C \cdot V_p$$

relazione che esprime come la deviazione trasversale del raggio elettronico sia in funzione della tensione di alimentazione delle placche.

Ucendo dalle placche l'elettrone proseguirà verso lo schermo in linea retta con inclinazione α. Si definisce con $A_s = \text{tg}\, \alpha$ la *sensibilità statica.*

Dalla formula precedente si vede che la deviazione y è inversamente proporzionale a v^2. Ma in precedenza si era già constatato il legame fra v^2 e V_a, tensione di accelerazione. Pertanto, per aumentare la sensibilità, cioè per avere una maggior deviazione y a parità di tensione deviatrice V_p, occorrerebbe diminuire la tensione acceleratrice V_a, ma questo fatto andrebbe a scapito della luminosità e della focalizzazione per cui non si può scendere oltre certi limiti. Così, con una tensione acceleratrice di 1000 V si può avere una sensibilità di 0,4 mm/V nelle placche verticali e 0,3 mm/V in quelle orizzontali.

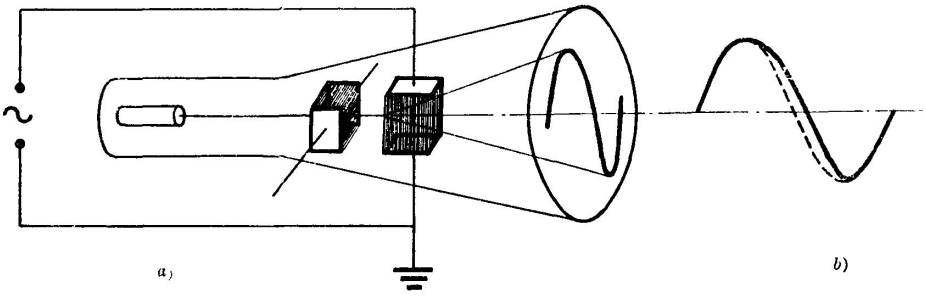


Fig. 7 - Deformazione della immagine conseguente al collegamento a massa di una placca di deflessione verticale.

Il circuito di deviazione verticale non viene normalmente collegato a massa ad un estremo (fig. 7 *a*) perchè in tal modo si introduce una causa di deformazione della curva. Infatti nel caso, ad esempio, di un segnale sinusoidale, durante il semiperiodo positivo gli elettroni subiscono una accelerazione supplementare e quindi, impiegando meno tempo a percorrere la traiettoria, la sinusoide viene deformata come in figura 7 *b*.

Per ovviare a questo inconveniente vengono impiegati circuiti simmetrici rispetto a massa, nei quali le due piastre assumono sempre potenziali uguali e di segno opposto.

Talvolta è tuttavia indispensabile collegarsi a un circuito d'entrata non bilanciato e questo può dar luogo anche ad una mancanza di focalizzazione unidirezionale (astigmatismo) che in alcuni tipi di oscilloscopi viene corretta con un apposito comando.

b) *Placche orizzontali.* — Analizzata la funzione delle placche verticali *V* vediamo ora quale grandezza si applica alle placche orizzontali *O*.

Se alimentiamo, contemporaneamente alle placche *V*, pure le placche *O*, il fascio subisce una nuova deviazione e la posizione dipenderà dalla somma delle due forze agenti fra le placche.

Alimentando le placche con corrente continua il fascio sarà deviato e permarrà nella posizione assunta: sullo schermo apparirà un punto spostato dal centro (riferimento) di una quantità *d* proporzionale alla tensione di alimentazione delle placche (fig. 8 *a* - *b*).

Se invece di corrente continua alimentiamo con corrente alternata, allora il campo che si stabilisce fra le placche avrà pure carattere alternativo; di conseguenza il raggio sarà attratto alternativamente a destra e a sinistra. Sullo schermo apparirà quindi una linea continua (figg. 8 *d*, 8 *e*). Se la frequenza è inferiore ai 10 Hz è possibile seguire l'escursione del punto luminoso; per frequenze superiori, per la persistenza dell'immagine sulla retina, si ha l'impressione di una linea continua come sopra detto. Nella figura 9 è rappresentato graficamente il caso della figura 8 *e*.

Più in generale, se alle due coppie di placche si applicano delle tensioni alternative scelte a caso, sullo schermo appare una linea in movi-

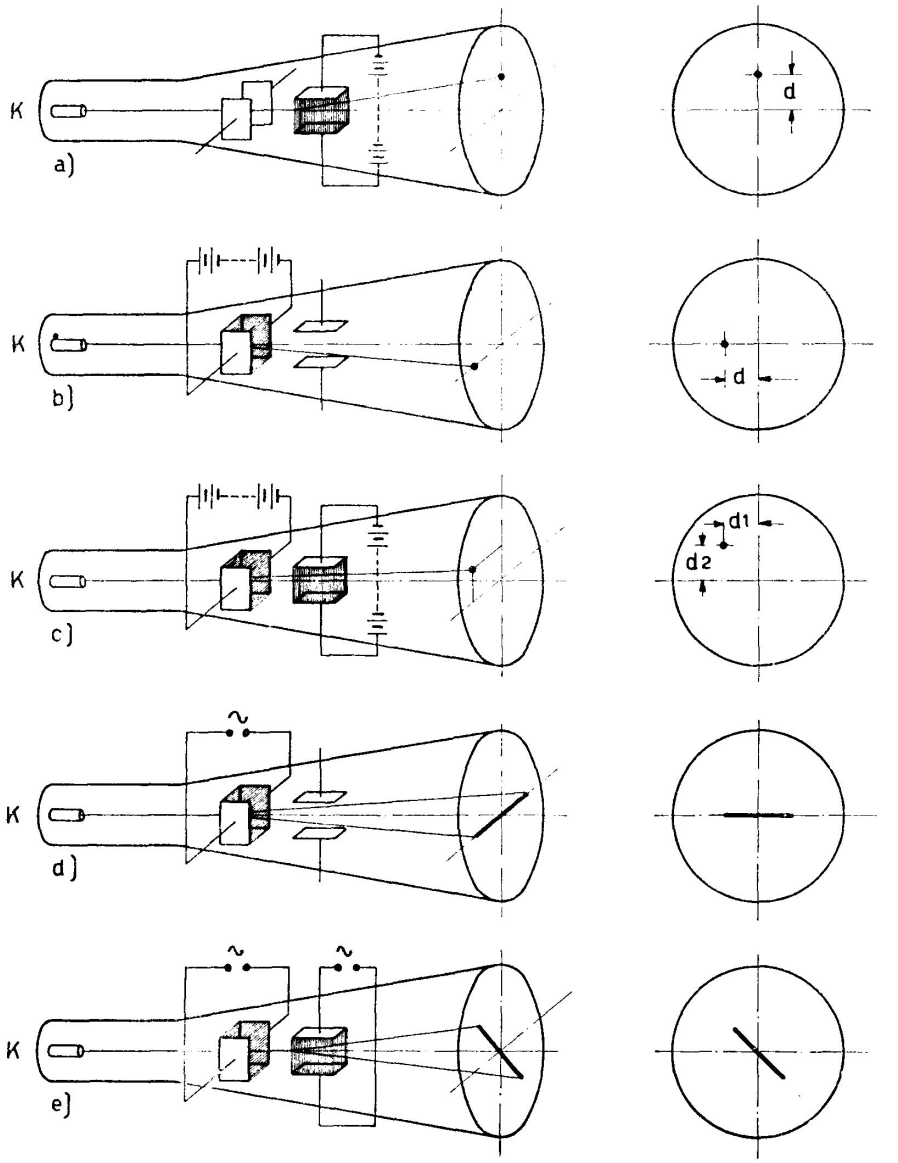


Fig. 8 - Serie di immagini che appaiono sullo schermo in relazione al genere di tensione applicata alle placche deflettrici.

mento continuo, generalmente non chiusa, la cui forma dipende dal rapporto di ampiezza, di frequenza e di fase esistente fra le due tensioni applicate. Se il rapporto fra le due frequenze è espresso da un numero intero, sullo schermo si forma una linea chiusa non in movimento (stazionaria) Queste figure sono chiamate curve di Lissajous e sono di grande aiuto per controllare il buon funzionamento dell'oscilloscopio (vedi Cap. IX a pag. 63).

Anche per le placche di deviazione orizzontale, per le quali è richiesto un collegamento a massa, si introduce un'altra causa di deformazione della curva che, nel caso di traccia sinusoidale, assume l'aspetto di figura 10 *c*. Ciò è dovuto al fatto che quando la tensione delle due placche è positiva gli elettroni vengono accelerati e subiscono una deviazione minore passando attraverso gli elettrodi verticali (fig. 10 *a*). La correzione di questa

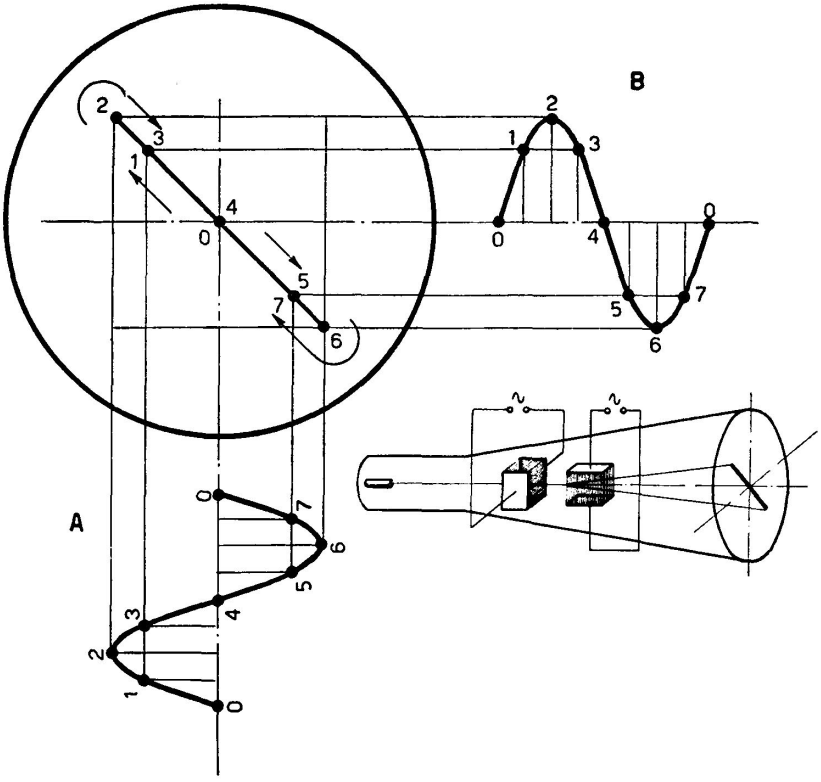


Fig. 9 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo qualora alle due placche deflettrici, verticale ed orizzontale, sia applicata una tensione alternata. Le frecce indicano il senso nel quale, partendo dallo zero, si forma l'immagine sullo schermo

A – Forma della tensione applicata alle placche orizzontali
B – Forma della tensione applicata alle placche verticali

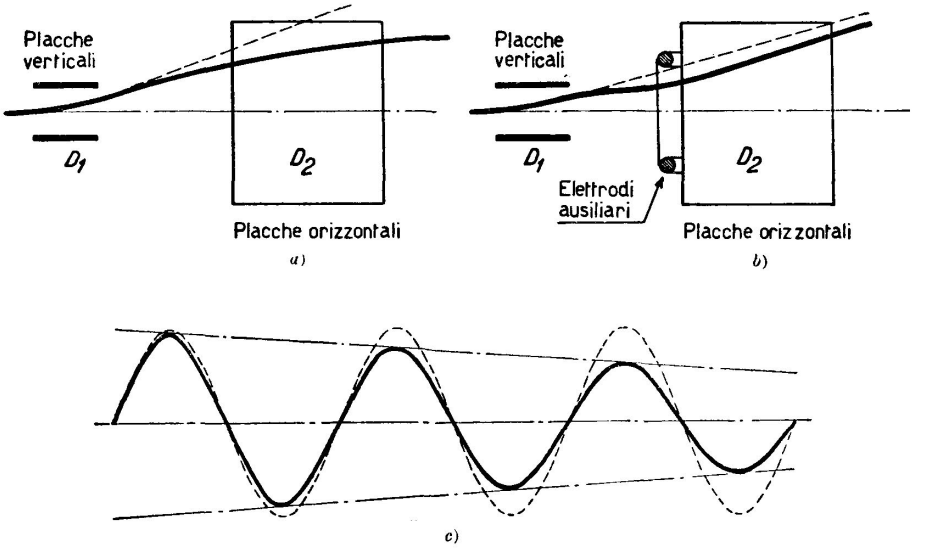


Fig. 10 - Deformazione della immagine conseguente il collegamento a massa di una placca di deflessione orizzontale (fig. *a*). L'inconveniente può essere ovviato collegando alla piastra non connessa alla massa due elettrodi ausiliari verticali (fig. *b*).

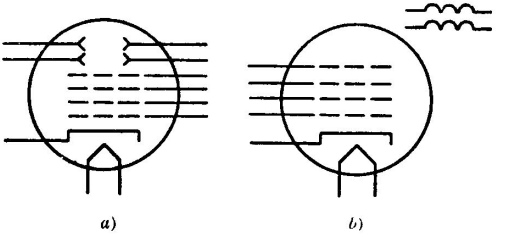
deformazione si può effettuare collegando alla piastra non connessa a massa due elettrodi ausiliari verticali (fig. 10 *b*) che producono una deviazione supplementare che corregge l'effetto sopra menzionato.

Il sistema di deflessione del fascio elettronico fin qui descritto viene denominato *elettrico* per differenziarlo da quello *magnetico* normalmente adottato nei televisori (1).

---

(1) Le Norme CEI (fascicolo 87) riportano due differenti segni per rappresentare sui disegni tecnici i tubi a raggi catodici. Nelle figure a lato sono indicati i segni per tubi con deviazione elettrica (fig. *a*) e per tubi con deviazione magnetica (fig. *b*).

Nel corso della trattazione siamo ricorsi a segni differenti per indicare anche quelli normalmente adottati dalle varie Case costruttrici.



Controllo della luminosità.

La regolazione della *luminosità* dell'immagine oscilloscopica si ottiene agendo sull'intensità del fascio elettronico.

Oltre all'anodo *A* che, come abbiamo detto, è destinato a imprimere una accelerazione al fascio elettronico, si dispone in prossimità del catodo un elettrodo *G* avente le stesse funzioni della griglia nelle valvole termoioniche che viene normalmente chiamato cilindro di Wehnelt (fig. 11).

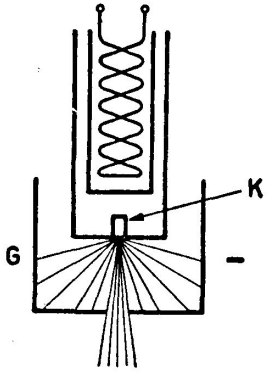


Fig. 11 - Cilindro di Wehnelt, per il controllo della luminosità.

K - Catodo (riscaldato dalla spiralina racchiusa nel cilindretto disposto sopra il catodo)
G - Cilindro di Wehnelt

Questo elettrodo, mantenuto a potenziale negativo, lascia passare attraverso il forellino centrale solo una parte (controllata) di elettroni. Ne effettua in altri termini una preconcentrazione. Inoltre, per la sua particolare forma, impedisce pure la dispersione della nube di elettroni attorno al catodo.

Portando la griglia ad un potenziale negativo di circa 40 V rispetto al catodo gli elettroni sono respinti, si può così giungere alla soppressione completa del fascio elettronico.

La tensione può essere regolata automaticamente in modo da ottenere sullo schermo un grafico a punti. In tal modo è possibile valutare esattamente l'intervallo di tempo fra un punto e l'altro, determinato dalla cadenza del circuito di soppressione.

Concentrazione del raggio elettronico.

Gli elettroni si dipartono dal catodo sotto forma di un fascio di raggi divergenti.

A questo si deve aggiungere l'effetto dispersivo e la mutua repulsione fra gli elettroni che concorre ad esaltare questa divergenza.

Sullo schermo apparirà quindi una macchia luminosa diffusa e di ampiezza piuttosto notevole. Questo effetto viene definito *aberrazione* sferica.

L'osservazione dei fenomeni risulta perciò difficile in quanto i contorni dell'immagine risultano indefiniti, quindi non facilmente osservabili.

E' della massima importanza che il fascio, in prossimità dello schermo, sia concentrato il più possibile, ossia puntiforme per ottenere un elevato potere risolutivo, che si definisce come rapporto fra il diametro dello schermo e quello di un puntino su di esso riprodotto e chiaramente visibile.

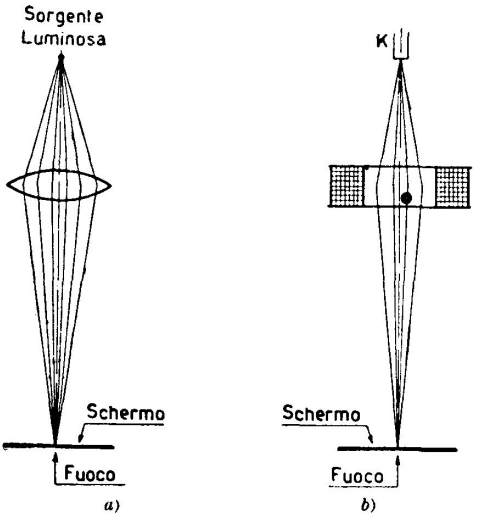


Fig. 12 - Raffronto fra una lente ottica (*a*) ed una lente elettromagnetica (*b*) per ottenere la concentrazione del fascio elettronico.

I dispositivi adottati possono essere di natura elettrostatica o magnetica: per ambedue l'effetto è analogo a quello ottenuto in ottica su un fascio di raggi luminosi da una lente convergente (fig. 12 *a*).

La concentrazione per via elettromagnetica si effettua facendo passare il fascio elettronico nel campo magnetico prodotto da un elettromagnete di forma opportuna (fig. 12 *b*).

Il concentramento *elettrostatico* offre, rispetto al precedente pregi di praticità essendo più semplice, robusto ed economico (fig. 13). Esso consta di due elettrodi cilindrici e concentrici A_1 A_2 alimentati a potenziali differenti (ad esempio: $A_1 = 500$ V; $A_2 = 1200$ V).

Fra i due elettrodi si stabilisce un campo elettrostatico le cui linee di forza hanno l'andamento rappresentato nella figura 14.

Le linee tratteggiate rappresentano le superfici equipotenziali la cui configurazione richiama l'idea di una lente. L'azione convergente si basa precisamente sull'effetto lenticolare di questo campo.

Infatti, un elettrone nel percorso dal catodo allo schermo entra nel campo generato dai due elettrodi ed incontrando una linea di forza è sollecitato da una forza F la cui azione è convergente.

Seguendo la linea di forza considerata l'elettrone arriva in D e si trova soggetto alla forza F_1 la cui linea di azione è divergente.

Per la conformazione degli anodi, l'intensità del campo nella parte convergente è più intensa che nella parte divergente; inoltre, a mano a mano che l'elettrone percorre la traiettoria CD (ossia si avvicina all'elettrodo A_2), acquista una velocità più elevata di modo che la forza divergente risulta ancora minore.

Regolando opportunamente le tensioni dei due anodi si può far sì che il *fuoco* del fascio elettronico cada esattamente sullo schermo ottenendo in tal modo una macchia luminosa puntiforme chiaramente definita. Con questo accorgimento si può fare in modo che il diametro del punto luminoso sia dell'ordine di grandezza di $0{,}2 \div 0{,}5$ mm.

Nella figura 13 è rappresentata, schematicamente, la disposizione dei vari elettrodi che costituiscono quello che comunemente viene denominato

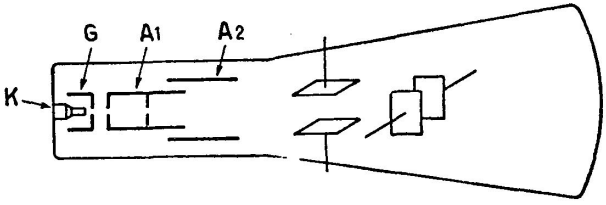


Fig. 13 - Disposizione degli elettrodi per realizzare la concentrazione del fascio elettronico per via elettrostatica.

K – Catodo
G – Cilindro di Wehnelt
A_1 – Primo elettrodo cilindrico
A_2 – Secondo elettrodo cilindrico

il *cannone elettronico*. Gli elettrodi sono disposti in modo da impedire le dispersioni laterali degli elettroni.

Il catodo è a riscaldamento indiretto ed a forma puntiforme al fine di emettere un fascio di elettroni di limitata apertura riducendo in tal modo l'aberrazione sferica.

Grande importanza ha pure la velocità degli elettroni, velocità che è determinata dalla tensione anodica. Infatti gli elettroni si respingono fra loro in quanto sono carichi di elettricità del medesimo segno; d'altra parte ogni traiettoria si può considerare come una corrente ed è noto che due correnti dirette nel medesimo senso si *attraggono*.

Poichè l'intensità della corrente elettronica è in relazione alla velocità degli elettroni, se questa è inferiore ad un certo valore prevale l'azione repulsiva e gli elettroni tendono a proiettarsi mutuamente fuori dal fascio.

La tensione anodica è quindi un elemento di primaria importanza e va scelta con la massima cura.

Come si può osservare dalla figura 14 gli elettroni periferici subiscono una deviazione superiore a quelli assiali. Questa azione divergente è tanto più grande quanto più elevata è la densità del fascio elettronico, d'altra parte se si conferisce una elevata velocità agli elettroni essi sono soggetti per minor tempo all'azione deviatrice delle placche.

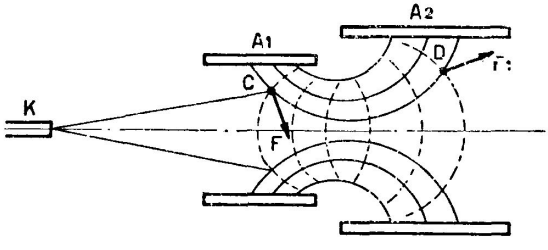


Fig. 14 - Andamento delle linee di forza del campo elettrostatico generato dai due elettrodi cilindrici A_1, A_2.

C, D – Traiettoria seguita da un elettrone che partendo dal catodo K entra nel campo elettrostatico
F – Forza risultante dall'azione delle due forze, la velocità dell'elettrone e la intensità del campo elettrico
F_1 – Direzione dell'elettrone all'uscita dal campo elettrico

CAPITOLO III

CARATTERISTICHE DEI TUBI A RAGGI CATODICI

Riteniamo interessante indicare alcune caratteristiche costruttive del tubo a raggi catodici.

I recenti progressi conseguiti dalla tecnica costruttiva dei tubi a raggi catodici sono talmente vasti che un esame dettagliato richiederebbe una lunga trattazione la quale, evidentemente, esulerebbe dai limiti impostici. Daremo quindi alcuni cenni sommari anche perchè gran parte dei processi fanno parte di quel patrimonio tecnico, frutto di lunghi anni di lavoro e di costosi esperimenti, di cui ogni casa costruttrice ne è, e a buon diritto, gelosa custode.

Catodo.

Scartata l'accensione diretta per i gravi inconvenienti che presentava, i costruttori si sono orientati verso l'accensione indiretta con la quale si può far uso sia di corrente continua che alternata. Il catodo ad accensione indiretta è costituito da un filamento, generalmente di tungsteno, disposto a spirale avvolta in senso inverso. Tale accorgimento è necessario per neutralizzare i campi magnetici prodotti nel caso di alimentazione in corrente alternata che potrebbero dare origine a notevoli perturbazioni.

Il filamento è immerso in un cilindretto di nichel ed isolato da questo mediante ossidi di magnesio, zinco od alluminio.

La superficie esterna del tubetto è rivestita di ossidi di bario o stronzio che, riscaldati, emettono elettroni. La forma della superficie emittente può variare a seconda del sistema ottico-elettronico adottato.

Particolarmente curata deve essere la centratura del catodo il cui asse deve corrispondere perfettamente a quello del tubo.

Tutto il complesso deve essere saldamente ancorato al vetro del sopporto mediante tondini metallici.

La durata media di un filamento si aggira sulle 1000 ore.

Elettrodi concentratori e placche deflettrici.

Questi elementi sono costruiti con leghe speciali, antimagnetiche, di composizione variabile da costruttore a costruttore.

Anche per essi è necessario fare in modo che la coassialità risulti perfetta.

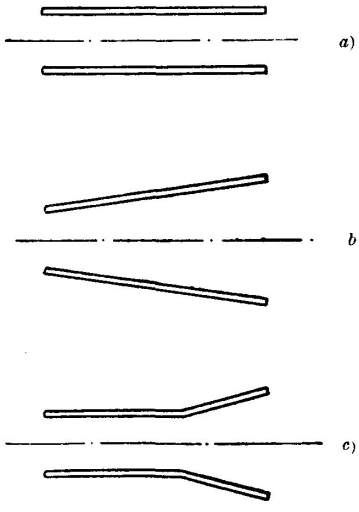


Fig. 15 - Disposizione delle placche deflettrici.
a) - Parallela
b) - Divaricata
c) - Mista

Per tutta la lunghezza compresa dagli elettrodi sono disposti quattro tondini metallici (talvolta ricoperti di speciale ceramica), detti da alcune ditte *puntoni*, ai quali vengono ancorati gli altri elettrodi. Nel caso di puntoni metallici questi possono essere impiegati pure come conduttori per addurre la corrente agli elettrodi ad essi collegati. Se a questi puntoni vengono collegati altri elettrodi questi vengono isolati mediante pastiglie di vetro.

Il fissaggio delle staffe di sostegno degli elettrodi e dei puntoni si effettua mediante saldatura elettrica a punti.

La disposizione delle placche varia in relazione agli scopi a cui è destinato il tubo. Generalmente alla disposizione parallela (fig. 15 *a*) si preferisce quella indicata nella figura 15 *c* mediante la quale è possibile ottenere più elevate sensibilità. La sezione è normalmente rettangolare.

Un'altra caratteristica forma delle placche di deflessione orizzontale è visibile nel tubo illustrato nella figura 16.

Ogni coppia di placche è fissata a sopporti di materiale ceramico; per piccoli tubi i sopporti possono essere di mica.

Bulbo di vetro e zoccolo.

Il vetro del sopporto, al quale si ancorano i puntoni ed attraverso il quale passano i conduttori che collegano gli elettrodi ai piedini dello zoccolo, deve rispondere a particolari requisiti: buon isolamento, coefficiente di dilatazione termica pressochè eguale a quello del metallo dei conduttori, buona adesione al metallo in modo da escludere porosità per garantire la tenuta del vuoto ed essere, infine, di facile lavorabilità alla fiamma.

Le qualità di vetro più adatte a questo scopo sono quelle al piombo, mentre per i conduttori si adotta la reddite, la platinite e, in qualche caso, il platino (limitato per l'alto costo).

Per l'ampolla si usano vari tipi di vetro tenendo presente che devono rispondere a requisiti di carattere meccanico: ottimi quelli a base di silicato di potassio, calcio, o meglio ancora, al magnesio.

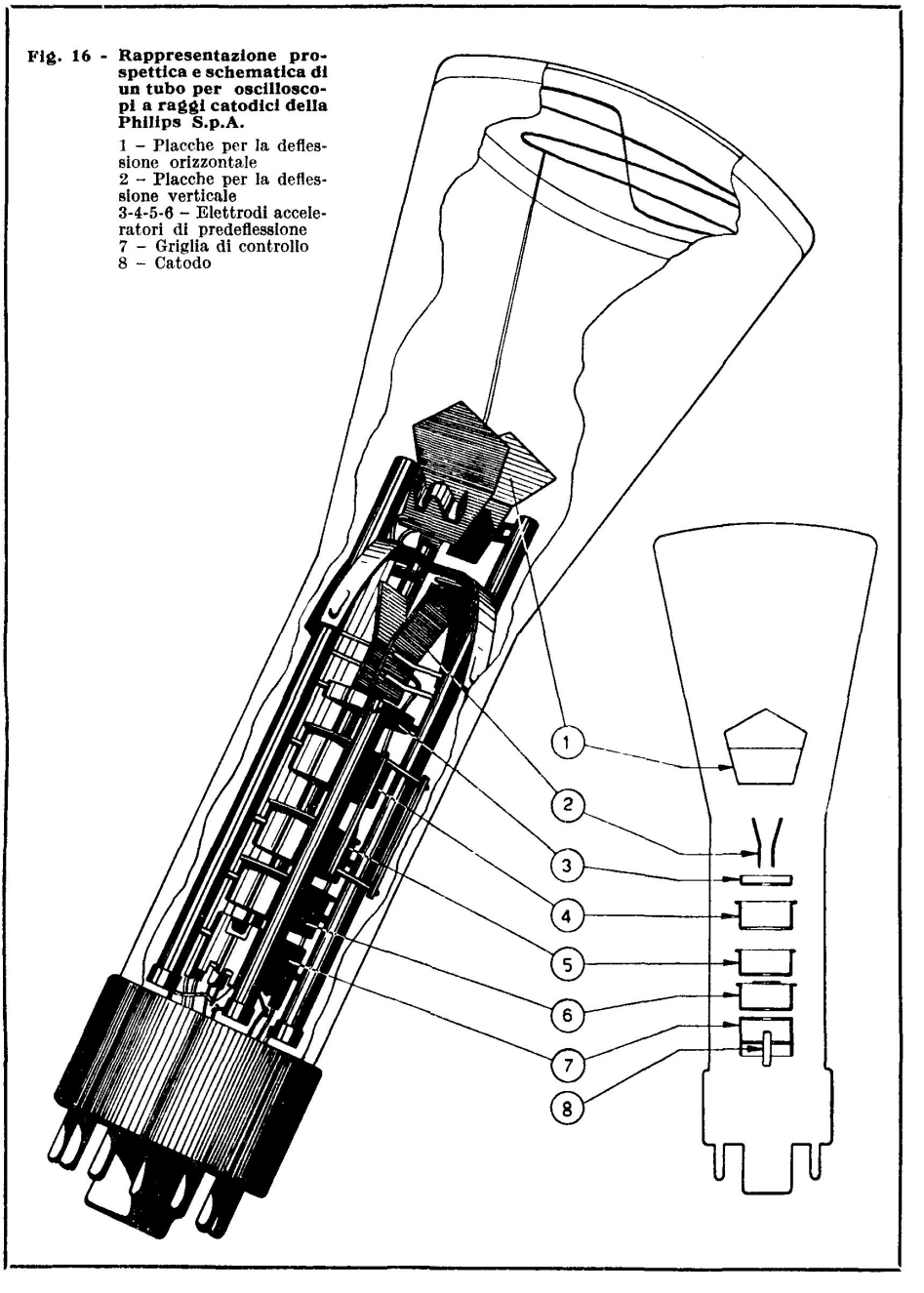


Fig. 16 - Rappresentazione prospettica e schematica di un tubo per oscilloscopi a raggi catodici della Philips S.p.A.

1 – Placche per la deflessione orizzontale
2 – Placche per la deflessione verticale
3-4-5-6 – Elettrodi acceleratori di predeflessione
7 – Griglia di controllo
8 – Catodo

La sostanza fluorescente si deposita nell'interno dello schermo. I principali composti adottati per la formazione dello schermo sono: ossido di zinco (violetto), tungstato di calcio (azzurro), silicato di zinco (azzurro), alluminato di zinco (verde-azzurro), germanato di zinco (giallo verde), silicato di calcio (verde o arancio), silicato di cadmio (arancio o giallo).

La superficie dello schermo deve essere particolarmente curata, ossia regolare e con esatto angolo di curvatura, per non dare origine a deformazioni dell'immagine.

La vuotatura costituisce una delle fasi più delicate ed importanti nella costruzione dei tubi poichè il rendimento è in stretto rapporto con il grado di vuoto raggiunto.

Questa operazione si effettua con procedimenti speciali: mediante pompe a vuoto, pompe rotative ad olio, eiettori a vapore di mercurio ed infine facendo esplodere, mediante bombardamento ad alta frequenza i *getter* preventivamente introdotti nel tubo. I getter sono composti da una sostanza formata da metalli volatizzabili (bario, magnesio) i quali, esplodendo, assorbono i gas residui nel tubo.

Queste sostanze sono contenute in involucri di nichel a forma di scatolette e trattenute mediante reticelle.

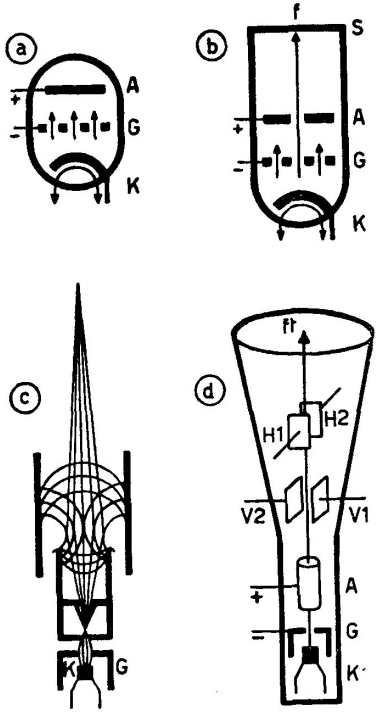


Fig. 17 - Genesi di un tubo per oscilloscopi a raggi catodici partendo da un normale triodo.

a) *Triodo*:
K - Catodo
G - Griglia
A - Anodo

b) *Foratura dell'anodo per lasciar passare gli elettroni*:
S - Schermo
f - Punto luminoso (spot)

c) *Lente elettrostatica per la concentrazione del raggio*:
K - Catodo
G - Griglia

d) *Tubo derivato dagli elementi di cui sopra*:
K - Catodo
G - Griglia
A - Anodo
V_1-V_2 - Placche di deflessione verticale
H_1-H_2 - Placche di deflessione orizzontale
ft - Punto luminoso (spot)

I getter devono avere un potenziale ben definito, affinchè non si abbiano a caricare. La formazione del getter viene effettuata a parte, mediante opportuni trattamenti e reazioni; in seguito essi sono conservati in olio di paraffina.

Al bulbo viene collegato lo zoccolo mediante sostanze cementanti.

Allo zoccolo, generalmente composto di materiale plastico, sono fissati gli spinotti di contatto. Per tubi di piccole dimensioni si usano zoccoli a contatti sporgenti, mentre per i grandi gli zoccoli a spinotti.

A complemento di ciò che è stato detto sulla costruzione dei tubi per oscilloscopi a raggi catodici, nella figura 16 è riportata la sezione di un tubo di medie dimensioni.

A un tubo di questo tipo si è giunti gradualmente, prendendo inizio dal normale triodo, come è indicato nella figura 17, che riportiamo a titolo di riepilogo.

Nello schema della figura 17 *a* è infatti disegnato un normale triodo composto come è noto da un catodo *K*, da una griglia *G* e da un anodo *A*. Gli elettroni emessi dal catodo e controllati dalla griglia (più o meno negativa) colpiscono l'anodo (positivo).

Se si pratica un foro nel centro dell'anodo *A* (fig. 17 *b*), gli elettroni

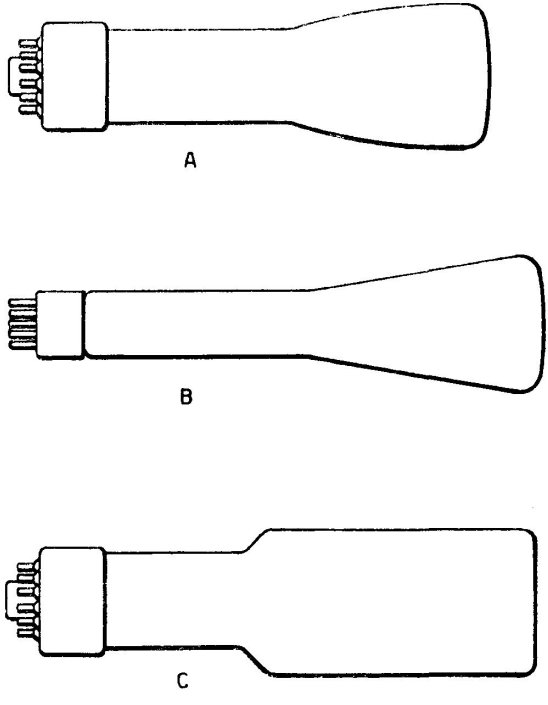


Fig. 18 - Varie forme caratteristiche dei bulbi adottati per la realizzazione di tubi per oscilloscopi a raggi catodici.

passando attraverso ad esso colpiscono la parete S del tubo (schermo) formando una macchia luminosa con contorni indefiniti.

Ciò che caratterizza un tubo per oscilloscopi, ripetiamo, è il sistema di concentrazione del fascio elettronico per realizzare sullo schermo un punto senza alone (fig. 17 *c*); e l'applicazione delle placche deflettrici V_1, V_2 ed H_1, H_2 (fig. 17 *d*). Così, ad esempio, se alla coppia di placche V_1, V_2 si applica una corrente alternata, sullo schermo apparirà una traccia verticale. Applicando, contemporaneamente, alle coppie di placche H_1 H_2 la tensione dell'asse dei tempi, sullo schermo apparirà una traccia riproducente l'andamento della grandezza in esame.

Circa la forma esterna del tubo, nella figura 18 sono indicati alcuni tipi caratteristici; non ci sono variazioni notevoli da un tipo all'altro, si tratta più che altro di considerazioni di carattere costruttivo che interessano particolarmente le Case costruttrici.

Nella figura 19 è stata indicata la designazione dei piedini di tre tubi, desunti da un prospetto della Società Du Mont. E' interessante notare come sono indicati i vari elettrodi e la successione dei piedini. Naturalmente la disposizione varia da fabbricante a fabbricante ed è sempre opportuno riferirsi ai cataloghi delle Case qualora si intenda individuare con sicurezza l'elettrodo collegato ai singoli piedini.

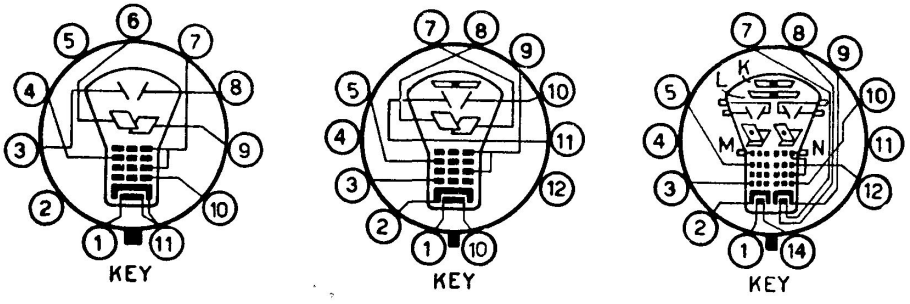


Fig. 19 - Disposizione dei piedini terminali fissati sullo zoccolo di alcuni tubi a raggi catodici (Soc. Du Mont).
KEY - Tacca di riferimento.

I fosfori del cinescopio.

I diversi fosfori vengono utilizzati in relazione al particolare impiego al quale è destinato lo strumento, tenendo presente che l'occhio umano ha maggiore sensibilità per il giallo-verde. Alcuni valori relativi di luminanza di fosfori standard sono:

Sigla	Fluorescenza	Luminanza relativa	Velocità relativa di impressione fotografica
P_1	giallo-verde	50%	20%
P_2	blu-verde	55%	40%
P_4	bianco	50%	40%
P_7	blu	35%	75%
P_{11}	blu-porpora	15%	100%
P_{15}	blu-verde	15%	15%
P_{31}	giallo-verde	100%	50%

Tubi oscilloscopici a più tracce.

Quando si effettua l'esame di un fenomeno con l'oscilloscopio può capitare di dover controllare contemporaneamente due o più grandezze periodiche o meno. Disponendo di normali oscilloscopi è necessario impiegarne uno per ogni misura, con la difficoltà di non essere certi che le scale dei tempi siano perfettamente uguali e che quindi i raffronti abbiano un valore relativo.

A questo scopo sono stati costruiti oscilloscopi i quali riuniscono in un solo tubo le apparecchiature occorrenti per proiettare sullo schermo due od anche quattro tracce indipendenti.

Un primo sistema è quello di riunire due oscilloscopi in uno, duplicando tutti i circuti dell'apparecchio e impiegando un tubo con due cannoni elettronici sovrapposti e due serie distinte di placche deflettrici orizzontali e verticali (fig. 20).

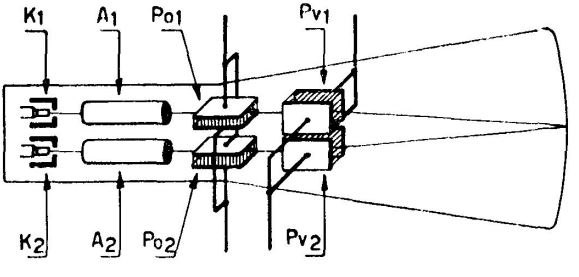
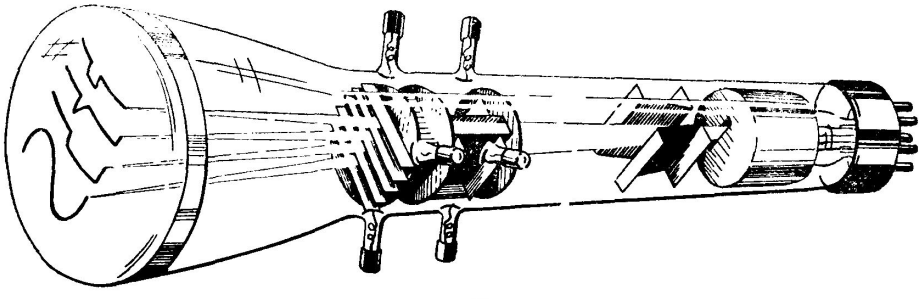


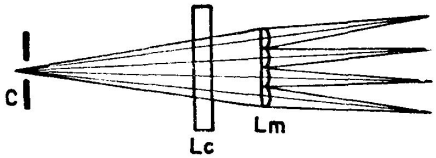
Fig. 20 - Schema di principio di un tubo a doppio raggio.

K_1-K_2 - Catodi e griglia
A_1-A_2 - Anodi
Po_1-Po_2 - Coppia di placche di deflessione orizzontale
Pv_1-Pv_2 - Coppia di placche di deflessione verticale

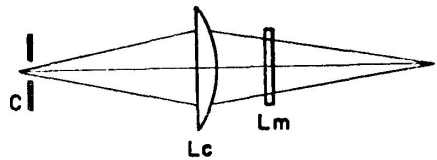
I due circuiti funzionano indipendentemente uno dall'altro, sia per quanto riguarda la deflessione verticale che quella orizzontale e l'impiego degli amplificatori. Nell'interno del tubo sono disposti degli schermi che evitano che le tensioni applicate ad una serie di placche possa influire sull'altra falsando il risultato delle osservazioni. In posizione normale le due tracce sono sovrapposte e distanziate di qualche centimetro ma è possibile applicare alle due serie di placche deflettrici verticali una tensione continua che porta le tracce a sovrapporsi al centro dello schermo. Inoltre, poichè spesso sono da osservare due fenomeni che sono legati anche nel tempo, è possibile pilotare con il medesimo segnale orizzontale le due placche, sia che si tratti di uno sgancio singolo (fenomeno non periodico) comandato internamente o da un impulso esterno, sia che si prelevi una tensione a dente di sega dal circuito di base dei tempi.



a)



Vista di fianco del fascio



Vista in pianta del fascio

b)

Fig. 21 - Disposizione degli elettrodi in un tubo a raggi catodici a quattro tracce (fig. *a*) e raffronto schematico delle traiettorie dei fasci luminosi in un sistema ottico multiplo (fig. *b*).

C – Sorgente
Lc – Lente cilindrica
Lm – Lenti cilindriche multiple

Un oscillografo di questo tipo può essere utile anche quando si debba osservare una sola traccia, poichè la seconda può essere impiegata per rappresentare un segnale di caratteristiche conosciute (per esempio una tensione sinusoidale di frequenza nota con precisione) che serve per la valutazione esatta dei tempi nella curva in esame. Secondo i medesimi concetti si può realizzare un apparecchio adatto per la rappresentazione di più di due tracce, nel quale siano montati altrettanti cannoni elettronici sovrapposti e gruppi di placche deviatrici.

Risultati analoghi si possono ottenere anche con un tubo dotato di un solo cannone elettronico, il quale emette un fascio che, dopo essere passato fra due elettrodi focalizzatori orizzontali, si riduce ad una linea sottile che attraversa tutto lo schermo in senso verticale. Questo fascio viene inviato a una unica coppia di placche deflettrici orizzontali e successivamente passa entro due serie di elettrodi verticali sovrapposte che dividono in due parti il fascio elettronico e lo focalizzano in senso verticale in modo da dar luogo sullo schermo a due punti sovrapposti corrispondenti alle due tracce. Per ultimo si trovano le due serie di placche deviatrici verticali che sono fra loro indipendenti.

Con questo sistema, a differenza dal precedente, si ha un solo sistema di deflessione orizzontale, per cui le due curve sono necessariamente sincronizzate nel tempo qualunque sistema si usi per provocare tale spostamento. Ciò costituisce in generale un vantaggio, poichè questi oscillografi, come si è detto, trovano il loro maggior impiego nel confronto di curve di fenomeni tra loro legati e che si svolgono con una certa relazione temporale che solitamente ha molta importanza mettere in rilievo con molta esattezza. Ed il fatto che il sistema di pilotaggio della deflessione orizzontale sia unico costituisce la migliore garanzia di una perfetta corrispondenza.

In tal caso, naturalmente, mentre occorrono due sistemi di alimentazione per le placche di deviazione verticale, è sufficiente una sola base dei tempi ed un solo gruppo di regolazione del cannone elettronico.

Anche questo tipo di tubo può essere costruito per quattro tracce, semplicemente impiegando quattro sistemi di focalizzazione verticale e quattro coppie di placche deflettrici verticali come è illustrato nell'esempio della figura 21.

Tubi oscilloscopici con memoria.

Un oscilloscopio dotato di memoria è un apparecchio capace di mantenere sul suo schermo una determinata immagine per un intervallo di tempo anche molto lungo, in modo che possa venire osservata o fotografata con comodità. L'immagine memorizzata può essere poi cancellata dallo schermo manovrando un normale commutatore, e l'oscilloscopio torna a funzionare in modo normale. Questo tipo di apparecchio permette perciò di osservare comodamente fenomeni molto lenti che sullo schermo di un

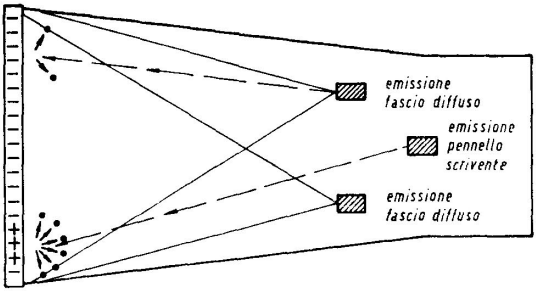


Fig. 22 - Principio di tubo oscilloscopico a memoria.

oscilloscopio normale sarebbero visti come un punto luminoso in lento movimento; oppure permette di *fermare* fenomeni molto rapidi che l'occhio umano faticherebbe a seguire su uno schermo normale.

La memoria di un tubo oscilloscopico è basata su un principio di emissione secondaria (fig. 22): quando un fascio di elettroni primari incontra lo strato di fosfori, ne stacca per urto degli elettroni secondari. Aumentando il potenziale ogni elettrone primario provoca l'estrazione di più di un elettrone secondario, rendendo così positivo lo strato fosforico.

Oltre al pennello elettronico scrivente, il tubo di un oscilloscopio a memoria emette anche un fascio diffuso di elettroni a bassa velocità che coprono uniformemente lo schermo dotato inoltre, al disotto dei fosfori, di uno strato di materiale trasparente e conduttivo.

Il normale pennello, diciamo così scrivente, colpisce, con il suo fascio focalizzato di elettroni ad alta velocità, lo strato di fosfori dello schermo estraendo un gran numero di elettroni secondari. La superficie su cui appare l'immagine diviene perciò positiva. Il fascio diffuso di elettroni a bassa velocità investe invece, come avevamo detto, lo schermo intero del tubo oscilloscopico ma non riesce ad estrarne elettroni, anzi ne perde in suo favore, rendendo così negativo lo strato fosforico (al di fuori dell'area occupata dall'immagine) che non riceverà perciò ulteriore apporto di elettroni.

L'area occupata dall'immagine, essendo positiva, attrae invece elettroni dal fascio diffuso accelerandone l'impatto con lo strato fosforico in modo tale da estrarne ancora elettroni secondari e mantenere positivo lo strato stesso, sempre inteso entro l'area occupata dall'immagine.

In definitiva quest'area non guadagna nè perde elettroni ma rimanendo sempre positiva attrae il fascio diffuso determinando un equilibrio che ha come risultato la permanenza dell'immagine sullo schermo.

Spesso questo schermo può avere una memoria divisibile a metà ossia solo la parte superiore o inferiore dello schermo stesso può funzionare come memoria in modo ad esempio di poter comparare una forma d'onda memorizzata con altre che si susseguono nella parte dello schermo funzionante in maniera normale.

CAPITOLO IV

ASSE DEI TEMPI

Abbiamo accennato precedentemente, trattando degli oscilloscopi elettrodinamici, come l'analisi di un fenomeno variabile nel tempo si renda possibile attraverso la composizione di due fattori e precisamente: uno in funzione della grandezza in esame, l'altro in relazione al tempo. Per afferrare meglio questo concetto basta ricordare il procedimento che normalmente si segue per tracciare un comune diagramma sulle cui ordinate sono riportati i valori della grandezza in esame e sulle ascisse i valori relativi ai tempi.

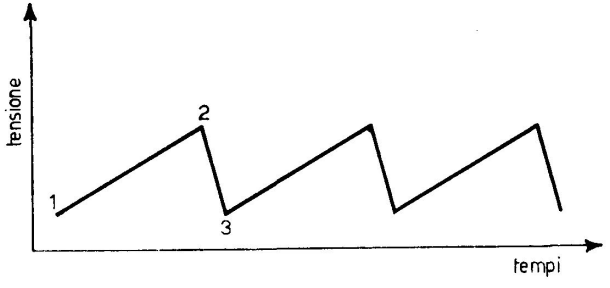


Fig. 23 - Andamento della tensione « a dente di sega ».

Nel caso degli oscilloscopi a raggi catodici si applicherà alle placche verticali una tensione i cui valori siano proporzionali a quelli della grandezza in esame mentre le placche orizzontali saranno alimentate con una tensione che varii linearmente nel tempo. In altri termini è necessario stabilire fra queste placche un campo elettrico capace di imprimere al fascio elettronico una *velocità costante* (in senso orizzontale) per tutto il tempo impiegato dal fascio per andare da una estremità all'altra dello schermo ed un *ritorno rapido* al punto iniziale di partenza.

L'andamento di questa tensione è rappresentato dal diagramma della figura 23. Per la sua forma caratteristica questa tensione viene denominata

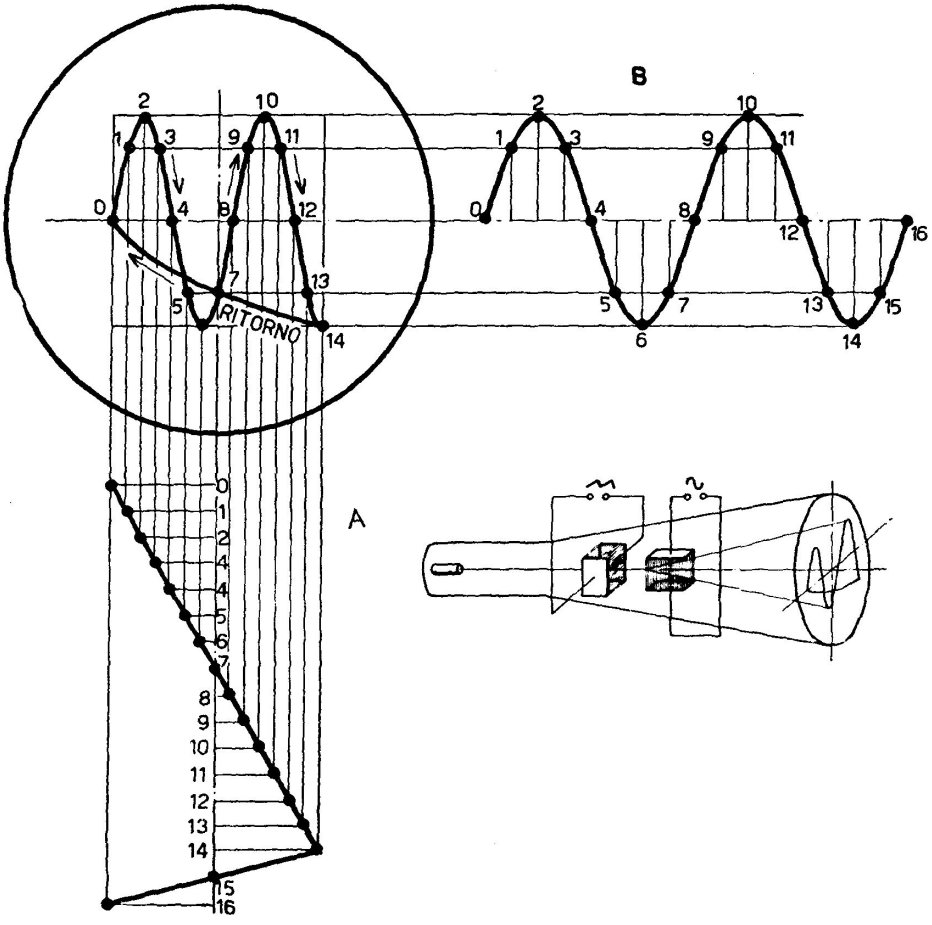


Fig. 24 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo qualora alle placche verticali sia applicata una tensione ad andamento sinusoidale e dalle placche orizzontali la tensione della base dei tempi, ad andamento « a dente di sega ».

A – Tensione a « dente di sega » applicata alle placche deflettrici orizzontali
B – Tensione sinusoidale applicata alle placche deflettrici verticali

a dente di sega. Il tratto 1-2, lentamente ascendente, corrisponde al periodo di tracciamento del diagramma che potremo definire anche di fase utile; il tratto 2-3, a fronte ripido, corrisponde al periodo di ritorno al punto iniziale.

Al fine di ottenere un'immagine stazionaria è necessario che la frequenza della tensione della base dei tempi sia eguale o multipla della frequenza della grandezza in esame.

Nel diagramma della figura 24 è indicata la curva della tensione risultante dalla composizione delle tensioni applicate alle due coppie di placche.

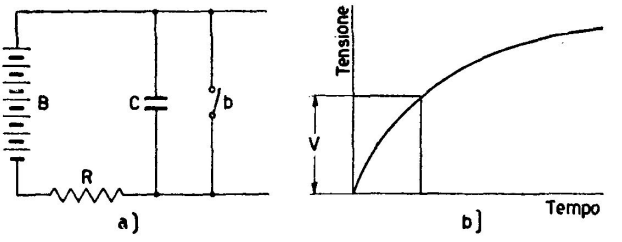


Fig. 25 - Schema di principio per realizzare la tensione dell'asse dei tempi (fig. *a*) **ed andamento della tensione generata** (fig. *b*).

B – Alimentazione del complesso
C – Condensatore
b – Interruttore destinato a cortocircuitare il condensatore *C*
R – Resistenza per la regolazione del tempo di scarica

La tensione della base dei tempi è realizzata mediante la carica (fase ascendente) e la scarica (ritorno) di un condensatore.

Lo schema di principio per ottenere la suddetta tensione è quello indicato nella figura 25. Esso comprende un condensatore *C*, cortocircuitabile con un interruttore *b*, e una batteria *B* per la carica del condensatore. Completa il circuito la resistenza *R* destinata a regolare il tempo di scarica. L'interruttore *b* può essere comandato da un motorino sincrono il quale ne regola l'apertura e la chiusura ad intervalli regolari. E' evidente che variando la velocità del motorino si varia di conseguenza la frequenza della tensione a dente di sega (è necessario variare pure il valore della resistenza *R*).

Caricato il condensatore, in un tempo più o meno lungo, a seconda del valore assegnato alla resistenza, si chiude l'interruttore *b* scaricando così, in un tempo brevissimo, il condensatore.

La legge di variazione è indicata dalla figura 25 *b*. Da essa appare come la tensione di carica non cresca linearmente nel tempo, ma, dopo una salita piuttosto ripida, si appiattisca verso il fondo. Per avvicinarsi il più possibile al regime ideale si può effettuare la scarica alla fine del tratto ascendente (ritenuto sufficientemente costante nel tempo), ad esempio in corrispondenza della tensione *V*.

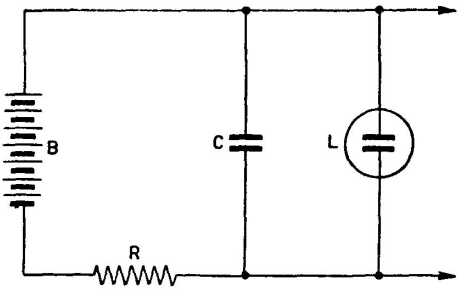


Fig. 26 - Lo schema della fig. 25, sostituendo l'interruttore con un tubo a scarica gassosa (*L*).

Con questo accorgimento tuttavia si utilizza solo parzialmente la tensione della batteria; inoltre, prescindendo dalla forma della curva sopra detta, gli inconvenienti di ordine meccanico, facilmente intuibili, sono tali da far abbandonare a priori il suddetto sistema.

Lo schema di figura 26 rappresenta una variante del sistema precedente. L'interruttore è sostituito da un *tubo a scarica gassosa* L.

Allorchè la tensione ai capi del condensatore raggiunge il valore di innesco del tubo, esso si scarica, in un tempo praticamente nullo, attraverso il tubo che mantiene il corto circuito fino al raggiungimento della temperatura di estinzione. Adottando una resistenza R a corrente costante la tensione di carica può avere un andamento pressocchè rettilineo.

Il funzionamento del tubo a scarica nel gas al neon non è tuttavia sufficientemente regolare da dare buone garanzie di funzionamento.

Gli odierni circuiti a stato solido, sia con componenti discreti che integrati, consentono di ottenere la tensione dell'asse dei tempi con una ampia gamma di frequenza.

Bande di frequenza e campi di misura.

Gli oscilloscopi moderni arrivano ad avere un'ottima risposta, dalla corrente continua — ossia da frequenza zero — sino a valori dell'ordine dei megahertz. Un valore medio abbastanza comune è 50 MHz; non mancano però tipi che hanno bande di frequenza che si estendono sino a 100 MHz, 150 MHz, 250 MHz. Gli oscilloscopi a campionamento hanno bande di frequenza ancora maggiori che giungono a valori di 10-20 GHz, ossia 10 000-20 000 MHz.

La base dei tempi dell'oscilloscopio deve essere proporzionata alla banda di frequenza, per cui si osservano valori di costante dell'ordine del nanosecondo per divisione per la massima sensibilità sino in genere a valori di 5 s/divis, per la minima, con 20-25 gradini intermedi; imprecisione contenuta entro valori di $2 \div 4\%$.

Gli oscilloscopi attuali, rispetto ai modelli di un certo numero di anni fa, sono caratterizzati anche da una maggiore sensibilità del sistema di amplificazione verticale, che permette la visualizzazione di segnali molto deboli, e da una minore imprecisione di misura.

La costante di misura del canale verticale oggi più comune è quella di valore 5 mV/divisione, per la massima sensibilità; per la minima si arriva generalmente a 20 V/divis., con 10-21 gradini intermedi tra l'una e l'altra. Uno schermo di 10 divisioni ($\sim$ 1 cm l'una) risulta così occupato pienamente da segnali con valori da 50 mV picco-picco sino a 200 V picco-picco.

Valori inferiori della costante di massima sensibilità sono 1-2 mV/divis., 100 μV/divis. e anche in qualche caso 10 μV/divis.

L'imprecisione di misura del canale verticale può risultare contenuta entro valori di 1,5-2%.

CAPITOLO V

COSTITUZIONE DI UN OSCILLOSCOPIO

In linea di massima si può ritenere che l'oscilloscopio a raggi catodici si componga dei seguenti complessi:

— alimentatore;
— amplificatore;
— generatore dell'asse dei tempi;
— tubo oscilloscopico vero e proprio.

Senza scendere in dettagli, cosa del resto superflua, indicheremo gli aspetti più salienti di ogni complesso soffermandoci in particolare sugli ordini di grandezza delle tensioni e delle correnti in giuoco.

Alimentazione.

Per l'alimentazione del tubo a raggi catodici sono necessarie varie tensioni.

In relazione alla grandezza del tubo, le tensioni dei vari elettrodi sono del seguente ordine di grandezza:

Accensione filamento: 4 ÷ 6,3 V
tensione di griglia: — 20 ÷ — 100 V (mai positiva)
tensione terzo anodo: 200 ÷ 900 V
tensione secondo anodo: 800 ÷ 2000 V
tensione primo anodo: 2500 ÷ 5000 V.

Un trasformatore a primario universale provvede all'alimentazione dell'apparecchio. Il secondario è diviso in due o più sezioni destinate le une all'accensione del filamento del tubo (bassa tensione), le altre (alta tensione) vengono raddrizzate, livellate ed infine inviate ai vari elettrodi del tubo.

Particolare cura va posta nel proporzionamento e nella costruzione del trasformatore, onde realizzare minime dispersioni (tenere molto bassi i valori dell'induzione). E' necessario provvedere ad una efficace scherma-

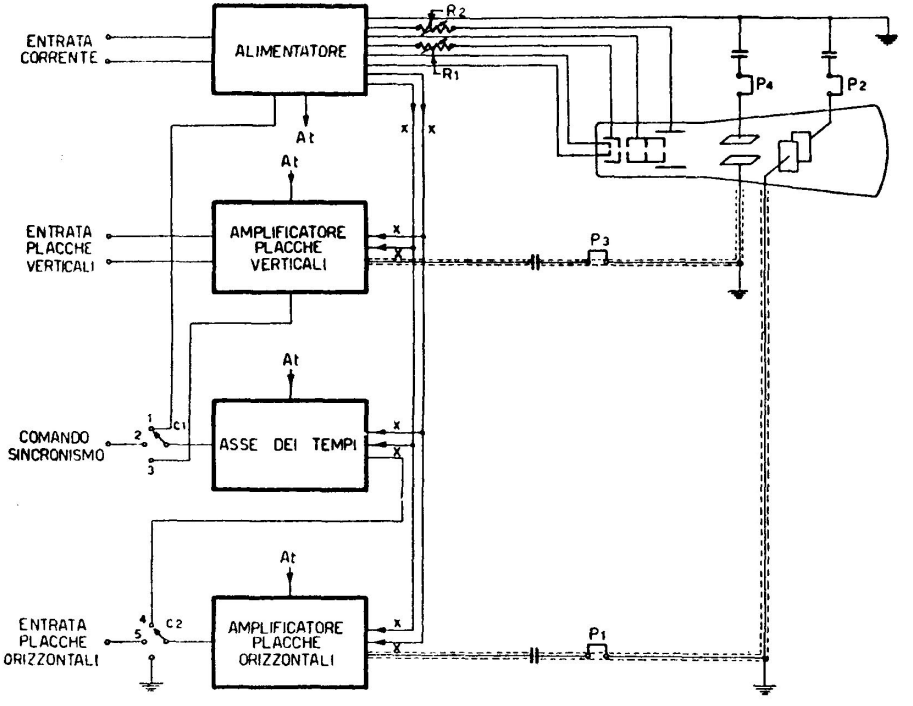


Fig. 27 - Schema a blocchi degli elementi costituenti un oscilloscopio a raggi catodici.

tura ed opportuno orientamento per non influenzare al fedeltà dell'immagine proiettata sullo schermo.

La corrente ad alta tensione raddrizzata e livellata viene inviata ad un partitore di tensione dal quale si prelevano le tensioni a diverso potenziale per i vari elettrodi.

Così, ad esempio, sono visibili nello schema della figura 27 le resistenze variabili R_1 ed R_2 destinate alla regolazione della luminosità e del fuoco.

Amplificazione.

Sostanzialmente i complessi amplificatori di un oscilloscopio si riducono a:

— amplificatore del segnale applicato alle placche verticali;

— amplificatore del segnale applicato alle placche orizzontali.

Nello schema di principio della figura 27 sono indicati i vari amplificatori. Il collegamento fra amplificatori e placche deflettrici è realizzato

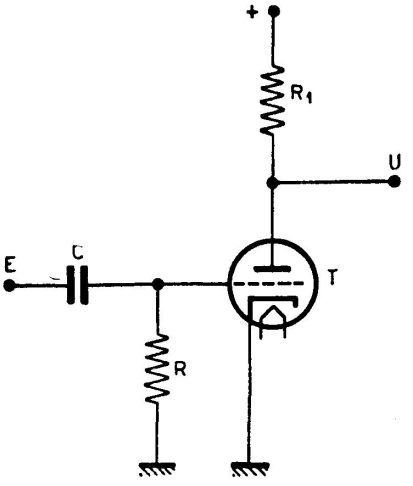


Fig. 28 - Schema elementare di un amplificatore con accoppiamento di ingresso capacitivo.

E – Segnale in entrata
U – Segnale in uscita
C – Condensatore di accoppiamento
R – Resistenza di griglia
R_1 – Resistenze anodiche
T – Triodo

mediante un cavo schermato affinchè le immagini non siano deformate da influenze esterne.

Il progetto degli amplificatori deve essere accurato: si devono conciliare elevati fattori di amplificazione con minime distorsioni in modo che l'immagine non risulti deformata.

A tal fine si cerca di ottenere una curva di risposta piatta per tutto il campo di misura dell'oscilloscopio ed anzi in alcuni tipi di strumenti si usano amplificatori ad accoppiamento diretto che amplificano e trasmettono anche la componente continua del segnale.

Non è detto, tuttavia, che tutte le grandezze da osservare sullo schermo debbano essere amplificate. Infatti può essere preferibile, in alcuni casi, applicarle direttamente alle placche deflettrici. Allo scopo è sufficiente escludere i ponticelli P_1, P_2 e P_3, P_4, rispettivamente per le placche orizzontali e le placche verticali (fig. 27).

Gli elementi da considerare in un amplificatore sono essenzialmente la curva di risposta alla quale si è accennato sopra e il fattore di deflessione che indica il minimo segnale che può essere applicato all'ingresso dell'amplificatore per ottenere una data deflessione sullo schermo. Queste due caratteristiche sono in contrapposizione perchè un amplificatore con un guadagno elevato (basso segnale d'ingresso) ha una banda ristretta e viceversa, per cui talvolta si devono usare più stadi di amplificazione.

Anche in quest'ultimo caso esistono però delle limitazioni imposte dalla stabilità del sistema e dalla possibilità di avere un livello troppo elevato dei disturbi.

In figura 28 è illustrato lo schema elementare di un amplificatore a valvole con accoppiamento d'ingresso capacitivo, che esemplifica questa funzione anche se in realtà nei circuiti moderni vengono utilizzati componenti a stato solido.

Per osservare, mediante l'oscilloscopio a raggi catodici, un qualsiasi fenomeno periodico, è sempre consigliabile scegliere la frequenza dell'asse dei tempi in modo che sullo schermo appaiano due cicli completi. Al fine di realizzare la necessaria fissità dell'immagine è necessario sincronizzare la frequenza dell'asse dei tempi con quella propria del fenomeno da osservare.

La scansione orizzontale.

Nei moderni oscilloscopi i circuiti sono ancora fondamentalmente quelli descritti, salvo alcune modifiche principalmente nel sistema di deflessione orizzontale. Lo schema (fig. 29) comprende un amplificatore a guadagno regolabile *AV* al quale si applica il segnale in entrata: in uscita, attraverso la linea di ritardo *LR*, il segnale giunge alle placche di deflessione verticale.

Per la scansione orizzontale c'è il segnale del generatore della base dei tempi *GBT*, a dente di sega come si è visto e che dopo l'amplificatore *ABT* viene invertito di fase per fornire il segnale di comando della placca deflettrice sinistra.

Per mantenere stabile l'immagine sullo schermo, ogni scansione orizzontale deve partire dallo stesso punto della forma d'onda in esame: perciò si preleva il segnale in entrata e lo si invia ad un circuito *trigger T* che produce un impulso di tensione negativo, in corrispondenza del punto prescelto sulla forma d'onda che fa partire il segnale a dente di sega e quindi la scansione.

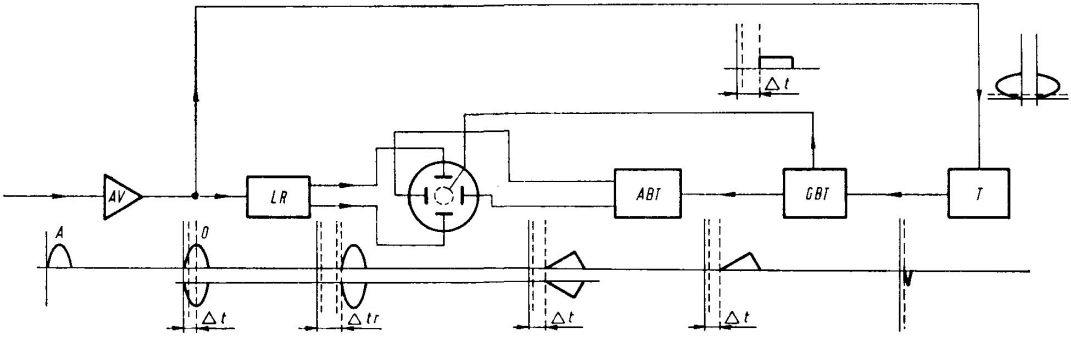


Fig. 29 - Schema a blocchi di un oscilloscopio moderno.

Un altro segnale rettangolare viene applicato alla griglia del tubo per cancellare la traccia durante il tempo di ritorno.

Se questo generatore funziona con continuità la taratura della scala orizzontale è basata sulla frequenza del dente di sega.

Più modernamente la taratura viene fatta direttamente in termini di unità di tempo per unità di percorso del raggio, per cui si parla di *base-tempi*.

Questo sistema presenta alcuni vantaggi: possibilità di una misura diretta dell'intervallo di tempo intercorrente fra due eventi; visualizzazione e misura di piccole parti di treni di impulsi, di eventi casuali oppure aperiodici, di eventi singoli non ricorrenti.

La lettura dei tempi di deflessione orizzontale e anche delle ampiezze di deflessione verticale è facilitata dalla presenza di una scala trasparente esterna o anche interna allo schermo oscilloscopico ripartita in divisioni sia in senso orizzontale che verticale.

Nel caso di fenomeni non ripetitivi o irregolari nel tempo, viene utilizzato il dispositivo di singola scansione, un circuito *trigger* che sgancia il generatore della base-tempi su comando del segnale in esame e da luogo ad una sola scansione dello schermo.

Scansione ritardata e ritardante.

Talvolta può essere inoltre desiderabile osservare parte di una forma d'onda che si presenta considerevolmente ritardata rispetto al segnale di *trigger*. Una tale forma d'onda potrebbe essere osservata comodamente mediante una scansione sufficientemente lunga, ma se la durata della forma d'onda è breve rispetto alla durata di una scansione completa, un esame accurato della forma d'onda stessa potrebbe risultare impossibile. Occorre poter espandere l'immagine per l'intervallo di tempo durante il quale avviene il fenomeno: porzioni di scansione possono essere espanse aumentando il guadagno dell'amplificatore orizzontale *ABT* e posizionando l'immagine in modo tale che si centri sullo schermo la porzione desiderata. Oppure si possono generare dei segnali di *trigger* ritardati convenientemente sino a produrre lo *sgancio* di una scansione veloce immediatamente prima del prodursi del fenomeno da osservare. Il primo metodo ritarda la *presentazione* di una porzione d'immagine, il secondo metodo invece ritarda la *generazione* dell'immagine stessa.

Un'altra particolarità della scansione orizzontale presente in molti oscilloscopi moderni è la scansione ritardante.

Le misure con scansione ritardante sono fondate sull'impiego di due scansioni tarate in modo lineare: la prima scansione, ritardante, permette all'operatore di scegliere un tempo di ritardo specifico e quando questo istante di tempo è raggiunto inizia la scansione ritardata. Per comprendere meglio il meccanismo dobbiamo esaminare la relazione temporale esistente

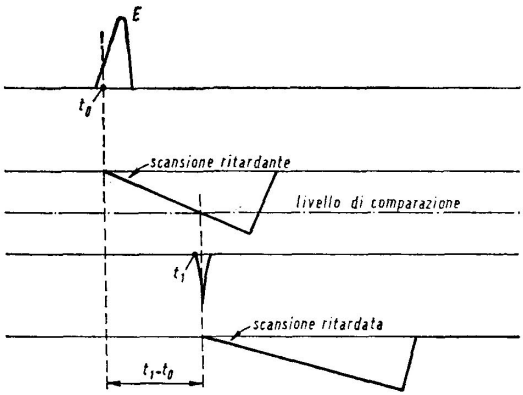


Fig. 30 - Relazione temporale fra scansione ritardante e ritardata.

fra le due scansioni (fig. 30). L'evento E provoca lo sgancio della scansione ritardante al tempo t_0: il segnale a dente di sega, tramite un circuito comparatore di tensione, produce un impulso di trigger nell'istante t_1 che sgancia la scansione ritardata.

Campionamento del segnale.

Alcuni particolari tipi di oscilloscopi impiegati per segnali ripetitivi di altissima frequenza utilizzano la tecnica del campionamento del segnale che consiste nel prendere campioni progressivi di porzioni adiacenti di forme d'onda successive, ritardarli nel tempo, amplificarli mediante amplificatori a banda passante relativamente bassa e riportarli sullo schermo del tubo oscilloscopico uno ad uno in modo da ricomporre la forma d'onda campionata (fig. 31). La principale differenza fra una tale forma d'onda ed una, diciamo così convenzionale, è data dal fatto che una forma d'onda campionata appare formata da tanti piccoli segmenti anzichè costituita da una linea continua. La tecnica di campionamento è naturalmente impiegabile solamente per segnali ripetitivi, in quanto della forma d'onda in esame, viene preso un solo campione ogni volta che il segnale si presenta.

Il metodo di campionamento rappresenta perciò un modo per esaminare segnali di frequenza molto elevata e di piccola ampiezza, che non possono essere osservati in altra maniera.

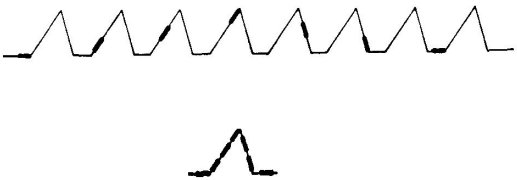


Fig. 31 - Principio della tecnica di campionamento.

CAPITOLO VI

USO DELL'OSCILLOSCOPIO

I comandi di un oscilloscopio sono generalmente disposti sul pannello frontale, sul quale si trovano anche i morsetti per i collegamenti esterni e, naturalmente, lo schermo fluorescente del tubo. I ponticelli di corto circuito per il collegamento diretto alle placche deflettrici sono spesso installati lateralmente in alto per trovarsi più vicini ai relativi terminali del tubo, dato che percorsi lunghi possono dar luogo a interferenze (fig. 32).

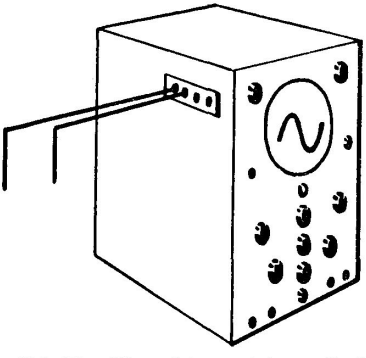


Fig. 32 - Disposizione dei ponticelli di cortocircuito per il collegamento diretto alle placche deflettrici.

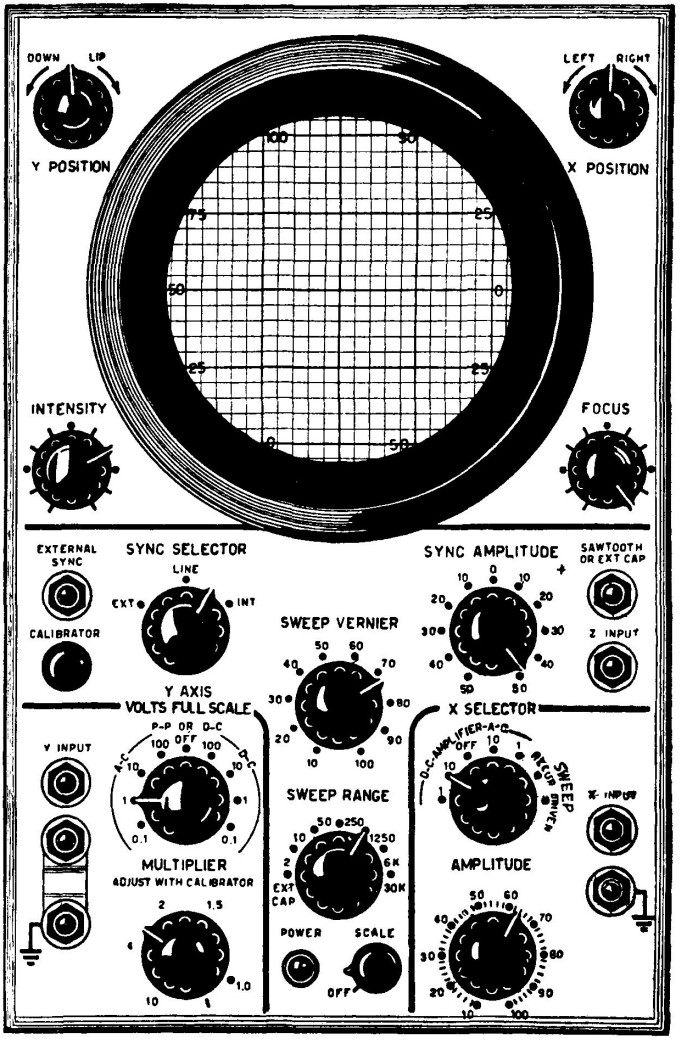
Questo è uno schema tipico di pannello di comando per oscillatore, però ogni Casa adotta sistemi che possono differire alquanto: i morsetti dei collegamenti esterni, ad esempio, possono essere collocati lateralmente anzichè di fronte e i ponticelli di esclusione degli amplificatori possono trovarsi anche posteriormente all'apparecchio o possono mancare totalmente. In quest'ultimo caso il comando che regola il guadagno degli amplificatori ha una posizione di corto circuito che li esclude connettendo direttamente l'entrata all'uscita.

Anche il numero, l'impiego e la disposizione dei comandi può variare da tipo a tipo di oscilloscopio, sia in relazione alla Casa costruttrice che alla complessità dello strumento: noi indicheremo quelli più importanti e che si possono trovare negli strumenti di uso più comune, senza soffermarci sui dispositivi speciali che vengono descritti dai manuali che accompagnano ogni apparecchio. Nella tavola 1 *b* è indicata la disposizione dei comandi di un altro tipo di oscilloscopio.

Comandi e collegamenti di un oscilloscopio.

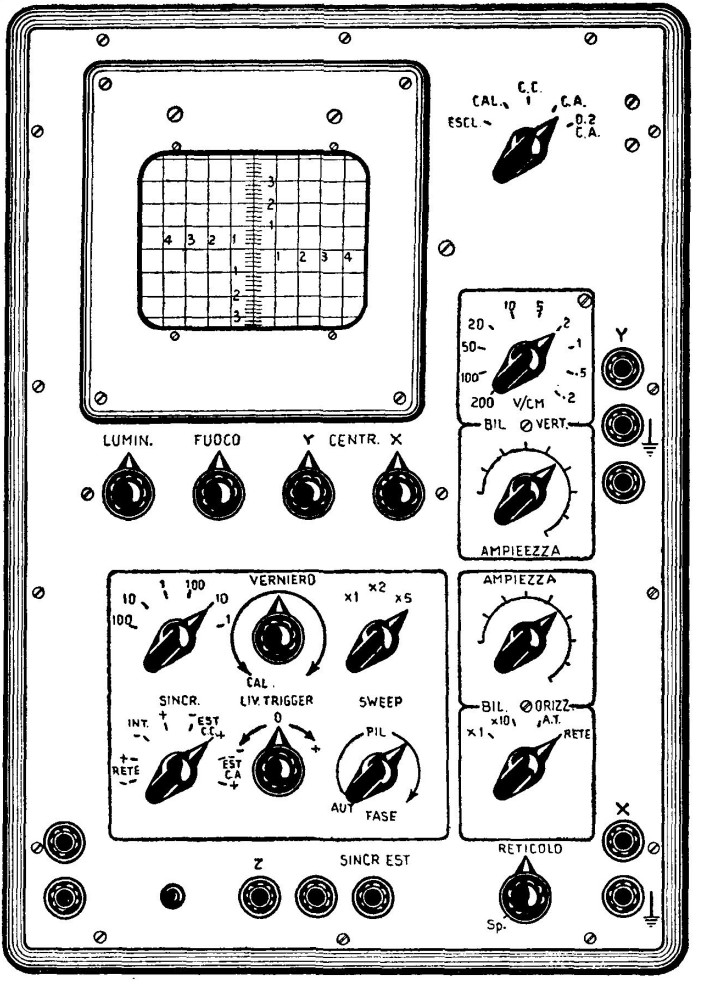
I dispositivi di comando, regolazione e collegamento di un oscilloscopio possono essere suddivisi in quattro gruppi:

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DISPOSIZIONI DEI COMANDI	Tavola **1 a**



Per il significato dei vari comandi vedasi descrizione a pagg. 44 ÷ 45

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DISPOSIZIONE DEI COMANDI	Tavola *1b*



comandi di carattere generale; comandi per la deflessione verticale; comandi per la deflessione orizzontale; base dei tempi.

I comandi di carattere generale comprendono innanzi tutto un interruttore di accensione, eventualmente con spia, e un cambio-tensione di rete; inoltre ci sono:

— **Fuoco (focus),** bottone per la regolazione del fuoco della traccia; in alcuni oscilloscopi di maggior complessità esiste anche una regolazione dell'astigmatismo verticale, con la quale è possibile focalizzare nella sola direzione verticale; ciò è necessario specialmente quando si applica a una o entrambe le coppie di placche deflettrici un segnale non bilanciato, che provoca appunto uno sparpagliamento dell'immagine in una sola direzione.

— **Luminosità (intensity),** bottone che regola la luminosità della traccia, agendo sulla tensione applicata alla griglia di controllo del tubo; in qualche caso questo bottone serve anche come interruttore generale.

— **Soppressione (sweep off** oppure **Z input),** commutatore che in una posizione (INT) inserisce il circuito di soppressione automatica della traccia durante il suo ritorno, mentre nell'altra (EST) collega il cilindro di Wehnelt al morsetto SOPPRESSIONE, mediante il quale si può regolare dall'esterno la luminosità della traccia in ogni istante; come si è già detto questo collegamento consente ad esempio di ottenere una traccia per punti a seconda del comando inviato dall'esterno alla griglia oppure di aumentare la luminosità della traccia nella porzione ove lo spostamento del fascio è molto veloce (grande ampiezza verticale) e quindi l'eccitazione sullo schermo fluorescente è scarsa.

— **Soppressione (Z input),** morsetto per il comando esterno della luminosità della traccia.

I comandi per la deflessione verticale sono i seguenti:

— **Ampiezza V** oppure **amplificazione Y (Y amplitude),** commutatore e bottone per la regolazione dell'ampiezza del segnale verticale; il commutatore serve per la scelta dell'intervallo di tensione compreso entro lo schermo (da rapporto 1 : 1 a 1 : 1000), mentre il bottone serve per la regolazione fine dell'ampiezza e agisce sul guadagno dell'amplificatore; ovviamente esso può venire impiegato solo quando l'amplificatore è inserito in circuito.

— **Posizione V** o **posizione Y (Y position),** bottone per la regolazione della posizione della traccia sullo schermo in senso verticale.

— **Vert** o **Y (Y input),** morsetto di collegamento agli elettrodi verticali: uno di essi è isolato mentre l'altro è collegato normalmente a terra. Spesso la connessione è fatta con un ponticello esterno che si può eliminare quando il circuito da collegare è bilanciato; in alcuni casi viene impiegata una presa coassiale con schermatura a terra per il rilievo di frequenze elevate.

— **Taratura (calibrate),** pulsante per l'emissione automatica di un segnale rettangolare di ampiezza nota, esso viene montato negli stru-

menti più precisi impiegati per la misura quantitativa delle tensioni e serve per la taratura dei comandi di ampiezza.

— Ponticelli di corto circuito, servono per il collegamento diretto dall'esterno alle placche deflettrici con esclusione dell'amplificatore quando questa possibilità non sia già data tramite il commutatore di ampiezza.

I comandi per la deflessione orizzontale sono i seguenti:

— **Ampiezza O** oppure **amplificazione X (X amplitude)**, bottone per la espansione della scala orizzontale sia quando essa è pilotata da un segnale esterno che quando è collegata alla base dei tempi.

— **Deviazione X** o **placche O (X selector)**, commutatore per il collegamento delle placche orizzontali ai morsetti esterni (EST oppure O), oppure alla base dei tempi con deflessione automatica **(impulsi - recur sweep)** o comandata dal segnale verticale **(sing - driven sweep)**; in alcuni casi tale commutatore comprende anche alcune posizioni per dare un fattore di amplificazione fisso al segnale in ingresso dall'esterno (1 o 10) o per escludere l'amplificatore.

— **Posizione O** o **posizione X (X position)**, bottone per la regolazione della posizione della traccia sullo schermo in senso orizzontale; questo bottone e quello della posizione verticale hanno segnato un trattino che corrisponde circa alla centratura del fascio sullo schermo.

— **Oriz** o **X (X input)**, morsetti di collegamento agli elettrodi orizzontali; uno dei due è permanentemente collegato a massa. Essi possono essere utilizzati quando il commutatore di « deviazione X » è nella posizione di collegamento « est » oppure « O ».

Quando il commutatore di « deviazione X » è nella posizione « impulsi » o « sing » (in alcuni oscilloscopi meno complessi c'è una sola posizione di collegamento all'asse dei tempi chiamata « AT ») le placche orizzontali sono collegate al gruppo di generazione della base dei tempi che ha i seguenti comandi:

— **Sinc (sync selector)**, commutatore che serve per avere la sincronizzazione esterna (posizione EST-EXT) attraverso il relativo morsetto, oppure interna (posizione INT) o infine dalla frequenza della rete di alimentazione (posizione RETE-LINE).

— **Sincronizzazione (sync amplitude)**, bottone di regolazione della intensità di sincronizzazione per evitare lo scorrimento delle immagini sullo schermo; esso serve qualunque sia la posizione assunta dal commutatore di sincronizzazione.

— **Sinc EST (EXT sync)**, morsetto per il collegamento di un segnale di sincronizzazione esterna (l'altro estremo del circuito esterno va collegato a massa).

— **Frequenza (sweep range)**, commutatore per la scelta della frequenza dell'asse dei tempi, tarato approssimativamente in Hz.

— **Frequenza (sweep vernier)**, bottone per la regolazione fine della frequenza dell'asse dei tempi.

In alcuni strumenti ci sono anche due morsetti dai quali si può derivare un segnale sinusoidale a frequenza industriale o il segnale a dente di sega generato dalla base dei tempi da applicare ad apparecchiature esterne per ottenere la sincronizzazione con il movimento del fascio elettronico.

Come si usa l'oscilloscopio.

Per mettere in funzione un oscilloscopio dopo aver chiuso l'interruttore generale, si porta il bottone *luminosità* verso il massimo e si regola il bottone *fuoco* a metà corsa; il commutatore *deviazione* X si mette nella posizione di collegamento alla base dei tempi con deflessione automatica, quello della *frequenza* su un valore basso e quello della *sincronizzazione* su *int.*

Quando lo schermo si illumina, si regola la *luminosità* ad un valore giusto, tale che l'immagine sia chiaramente visibile ma non troppo forte per non esaurire lo schermo fluorescente; con il bottone *fuoco* si cerca la posizione che dà l'immagine più nitida. Con l'oscilloscopio così disposto, sullo schermo deve apparire una linea orizzontale; se essa manca si agisce sui bottoni *posizione O* e *posizione V* fino a farla comparire e a collocarla al centro. Se questa linea occupa tutta la larghezza dello schermo, per assicurarsi del suo centramento in senso orizzontale si deve ridurre l'amplificazione orizzontale (bottone *ampiezza O*) fino a quando entrambi gli estremi rientrano nel quadro.

Se ora si applica un segnale ai morsetti *vert*, sullo schermo compare un oscillogramma che in generale non sarà nitido e fermo: per renderlo stazionario occorre agire sui comandi della frequenza della base dei tempi e sulla sincronizzazione. Per prima cosa si ruota il commutatore *frequenza* al valore più prossimo alla frequenza in esame: se sullo schermo compare un tratto di linea ad andamento quasi rettilineo occorre aumentare la frequenza, se invece si vede un insieme di curve molto fitte occorre diminuire, fino a quando si osservano pochi cicli. Se l'immagine scorre si aumenta la *sincronizzazione* e si regola al *frequenza* con il bottone di regolazione fine. Successivamente conviene ritoccare la *sincronizzazione* portandola al valore minimo per il quale l'immagine è ben fissa e non tende a sfuggire. Nel regolare la *frequenza* si tenga presente che, quando la si aumenta, sullo schermo compare un numero minore di cicli completi.

Infine, se sullo schermo non compaiono le punte estreme delle curve, si agisce sulla *ampiezza V* riducendo l'amplificazione.

Negli oscilloscopi predisposti per la misura di tensioni, che sono dotati di un reticolo dinanzi allo schermo, si può tarare la scala verticale quando esiste il pulsante *taratura*: premendolo, dopo aver staccato il segnale esterno applicato ai morsetti *vert*, compare sullo schermo un segnale rettangolare alla frequenza di linea la cui ampiezza corrisponde numericamente ai valori segnati dal commutatore *ampiezza V*. Se questo, ad esempio, è nella

posizione « 10 », l'ampiezza corrisponde a 10 volt; agendo sul bottone *ampiezza V* si porta il segnale a coincidere con due tratti del reticolo e l'intervallo compreso vale appunto 10 volt. Se il commutatore fosse nella posizione « 0,1 », il medesimo intervallo avrebbe valore di 0,1 volt. Se occorre comprendere entro lo schermo una ampiezza di 0,2 volt, basta agire sul bottone *ampiezza V* fino a quando il segnale occupa *metà* dello schermo: se questa porzione vale, grazie alla posizione « 0,1 » del commutatore, 0,1 volt, in tutto il quadro saranno compresi 0,2 volt come si voleva. Questo segnale rettangolare può servire anche per valutare la linearità dell'amplificatore verticale: il tratto orizzontale ne mostra la bontà per tensioni continue e quello verticale per frequenze alternate (la valutazione può essere valida da 5 a 500 p/sec). Applicando un segnale esterno di frequenza superiore a quella di rete la valutazione può essere estesa ad altri campi, compresi fra 0,1 f e 10 f, se con *f* si indica la frequenza fondamentale.

L'impiego degli altri comandi è il seguente:

— il commutatore *soppressione* si trova normalmente nella posizione *int*; quando si desideri dare una particolare configurazione alla traccia, ad esempio ottenerla a punti, si pone su *est* ed in questo caso occorre applicare il segnale di soppressione voluto al morsetto *soppressione*;

— il commutatore *deviazione* X si tiene nella posizione *impulsi* quando si deve esaminare un fenomeno periodico; quando si tratta di fenomeni non periodici (ad esempio commutazione di relè), si usa la posizione *sing*, nella quale il segnale a dente di sega giunge alle placche deflettrici orizzontali solo quando viene dato l'avvio dall'arrivo del segnale destinato alle placche verticali. Accade cioè che la deflessione orizzontale avviene solo al momento in cui si presenta il segnale da osservare. In questo caso è bene tenere il *sincronismo* ad un valore basso perchè altrimenti con una sensibilità troppo elevata il circuito generatore del dente di sega potrebbe « partire » anche per effetto di un occasionale segnale di disturbo di basso livello. Quando infine si vuole pilotare l'asse dei tempi con un comando esterno, si pone il commutatore nella posizione *est*: in questo caso il segnale va applicato al morsetto *oriz*. Questo collegamento può essere impiegato per frequenze fino a circa 200 kHz; per frequenze superiori è meglio il collegamento diretto alle placche effettuato eliminando i ponticelli di collegamento e inserendosi sulla presa. Lo stesso criterio vale per l'invio di segnali a frequenza elevata alle placche verticali;

— il commutatore *sinc* si trova generalmente nella posizione *int*, quando cioè il segnale di sincronismo per la base dei tempi viene ricevuto dall'amplificatore verticale; nella posizione *est* questo segnale viene dato invece attraverso il morsetto *sinc*, ad esempio quando si opera con frequenze elevate e ci si collega direttamente alle placche verticali escludendo l'amplificatore; infine nella posizione *rete* il segnale di sincronismo viene dato dalla frequenza di rete che alimenta lo strumento. Questa disposizione è particolarmente utile quando si esaminano segnali a quella frequenza o multipla, per esempio nello studio dei trasformatori.

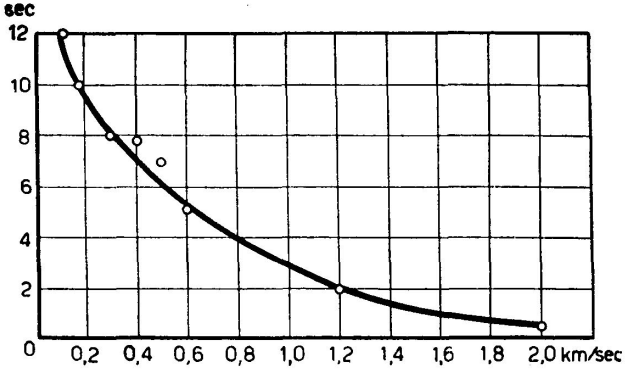


Fig. 33 - Valori medi della persistenza dell'immagine sullo schermo (in secondi) in funzione della velocità di esplorazione del fascio.

Quando il commutatore è nella posizione *est* il segnale di sincronismo può essere preso collegando il morsetto *sinc est* con il morsetto non a massa *vert* nel quale è fatto entrare il segnale.

Nell'uso dell'oscilloscopio si tenga presente di non lavorare mai con luminosità eccessiva la quale, oltre a danneggiare lo schermo, allarga l'immagine come se fosse sfuocata e ne rende meno chiara la traccia. Sempre per la buona conservazione del tubo è bene evitare di mantenere un punto fisso per lungo tempo (strumento acceso senza segnale orizzontale della base dei tempi). Inoltre, è misura prudenziale, data la presenza di tensioni elevate, collegare sempre a una presa di terra uno dei morsetti di massa dello strumento (ad es.: uno dei morsetti *vert* o *oriz* non isolati).

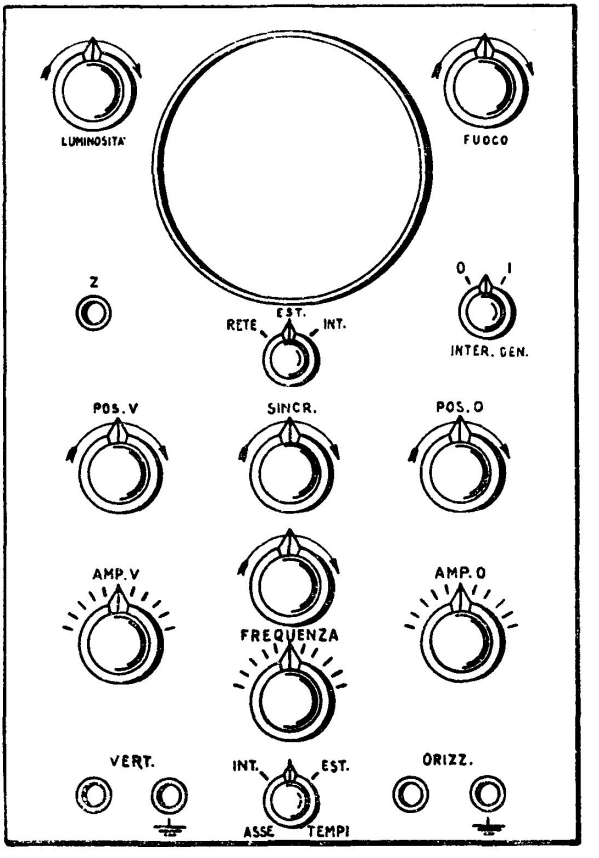
Si tenga anche presente che non si possono applicare ai morsetti *vert* e *oriz* tensioni superiori a 500 volt.

Nel caso di fenomeni non periodici si presenta anche il problema della persistenza dell'immagine sul tubo: è noto infatti che le sostanze fluorescenti, in base alla quantità degli elettroni che le colpiscono, hanno una certa durata di luminosità. Questo fatto si può vedere nel grafico di figura 33 dove la persistenza in secondi è data in relazione alla velocità di esplorazione del fascio (in km/sec). In base alla valutazione della durata del fenomeno da osservare, e quindi della velocità del fascio determinata dalla frequenza prescelta per la base dei tempi, si può allora sapere se la traccia sarà facilmente osservabile ad occhio nudo (da esperienze compiute si è trovato che occorre una persistenza di almeno 1 sec) oppure se sarà necessario ricorrere alla registrazione fotografica.

Il diagramma di figura 33 fornisce dei valori medi per oscilloscopi normali, esistono tuttavia dei tipi speciali ad elevata persistenza per i quali è facile ottenere luminosità della durata di parecchi secondi anche con velocità di esplorazione molto alte.

A titolo di riepilogo, riportiamo nella tavola 2 la disposizione dei comandi di un generico oscilloscopio e nella tavola 3 la funzione dei comandi; infine, nella tavola 4 sono riassunte le regolazioni da effettuare.

DISPOSIZIONE TIPO DEI COMANDI SUL PANNELLO FRONTALE DI UN OSCILLOSCOPIO A RAGGI CATODICI

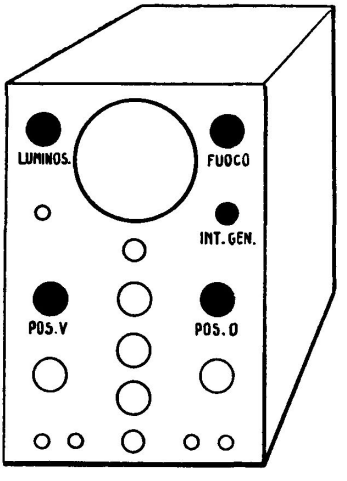


Nelle tavole che seguono verrà sempre adottato questo schema della disposizione dei comandi frontali. I comandi ed i morsetti sui quali operare nel corso della misura verranno disegnati in nero.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DENOMINAZIONE E FUNZIONE DEI COMANDI DI UN OSCILLOSCOPIO	Tavola **3**

Denominazione del comando	Funzione del comando	Circuito sul quale agisce
Fuoco (Focus)	Regolazione del fuoco dell'immagine.	Cilindro di Wehnelt.
Luminosità (Intensity).	Regolazione della luminosità dell'immagine.	Cilindro di Wehnelt.
Soppressione (Sweep-off, oppure *Z*-input).	Commutatore a due posizioni: soppressione automatica dell'immagine di ritorno, soppressione pilotata dall'esterno.	Cilindro di Wehnelt.
Ampiezza V, oppure Amplificazione *Y* (*Y* position).	Regolazione dell'ampiezza del segnale verticale.	Amplificatore dell'asse delle *y*.
Posizione V, oppure Posizione *Y* (*Y* position).	Regolazione della posizione della traccia in mancanza di segnale esterno.	Amplificatore dell'asse delle *y*.
Taratura (Calibrate).	Pulsante per emissione automatica di un segnale di taratura della scala delle *y*.	Amplificatore dell'asse delle *y*.
Ampiezza *Y*, oppure Amplificazione *X* (*X* amplitude).	Regolazione dell'ampiezza del segnale in senso orizzontale.	Amplificatore dell'asse delle *x*.
Deviazione X, oppure Placche *O* (*X* selector).	Commutatore per collegamento ai morsetti esterni oppure alla base dei tempi.	Amplificatore dell'asse delle *x*.
Posizione *X*, oppure Posizione *X* (*X* position).	Regolazione della posizione della traccia in senso orizzontale quando manca il segnale della base dei tempi.	Amplificatore dell'asse delle *x*.
Sinc (Sync selector).	Commutatore a tre posizioni: sincronizzazione esterna dai morsetti - sincronizzazione diretta dal segnale - sincronizzazione della frequenza di rete.	Circuito di sincronizzazione della base dei tempi.
Sincronizzazione (Sync amplitude).	Regolazione della intensità di sincronizzazione del segnale.	Circuito di sincronizzazione della base dei tempi.
Frequenza (Sweep range).	Commutatore per la scelta della frequenza dell'asse dei tempi.	Circuito base dei tempi.
Frequenza (Sweep vernier).	Bottone per la regolazione fine della frequenza dell'asse dei tempi.	Circuito base dei tempi.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	REGOLAZIONI GENERALI DELLO STRUMENTO PRIMA DELL'IMPIEGO	Tavola **4**



Prima di chiudere l'interruttore generale di accensione, assicurarsi che il commutatore di tensione (in genere posto sul pannello posteriore) sia nella posizione corrispondente alla tensione di rete.

	Operazione	Manovre da effettuare
1°	**Tutto spento**	— Portare la *luminosità* al massimo. — Commutatore *Asse dei tempi* su interno. — *Frequenza* su un valore basso (20 - 50 Hz).
2°	**Accensione interruttore generale**	Dopo alcuni secondi sullo schermo compare una linea orizzontale.
3°	**Regolazione posizione**	Agire su *Posizione* V finchè la traccia è al centro dello schermo. Ridurre *Ampiezza* O se la traccia esce dallo schermo, successivamente regolare *Posizione* O finchè la riga rimane centrata in senso orizzontale.
4°	**Focalizzazione**	Ridurre la *luminosità* a un valore compatibile con le condizioni di osservazione. Si tenga presente che una luminosità eccessiva esaurisce rapidamente il tubo. Regolare il *fuoco* in modo da ottenere una traccia nitida (sottile e senza sfumature.)

Avvertenze

Quando si applica il segnale ai morsetti verticali:

1) **Frequenza asse tempi:** Regolare il *commutatore frequenza* sn un valore prossimo a quello della frequenza del segnale in esame.

2) **Arresto dell'immagine:** Se l'immagine si sposta, agire sulla *regolazione fine della frequenza* dopo aver portato a metà corsa il bottone di *sincronizzazione.*

3) **Ampiezza verticale:** Regolare il bottone *Ampiezza* V fino a quando il segnale è contenuto tutto nello schermo in proporzioni adeguate.

CAPITOLO VII

APPARECCHIATURE AUSILIARIE DEGLI OSCILLOSCOPI

Per ampliare le possibilità di misura degli oscilloscopi vengono talvolta impiegate alcune apparecchiature ausiliarie, quali il commutatore elettronico o il generatore di segnali tarati.

In questo capitolo descriveremo per sommi capi tali dispositivi, accennando anche alle apparecchiature impiegate per la tecnica fotografica applicata in questo campo.

Commutatore elettronico.

Il commutatore elettronico è un dispositivo che permette l'esame contemporaneo di due segnali su un oscilloscopio ad una sola traccia. Esso consta infatti di quattro morsetti d'entrata, ai quali sono connesse le due coppie di terminali ai quali sono portati i segnali, e due morsetti d'uscita da collegare alle prese degli elettrodi di deviazione verticale (fig. 34 *a*).

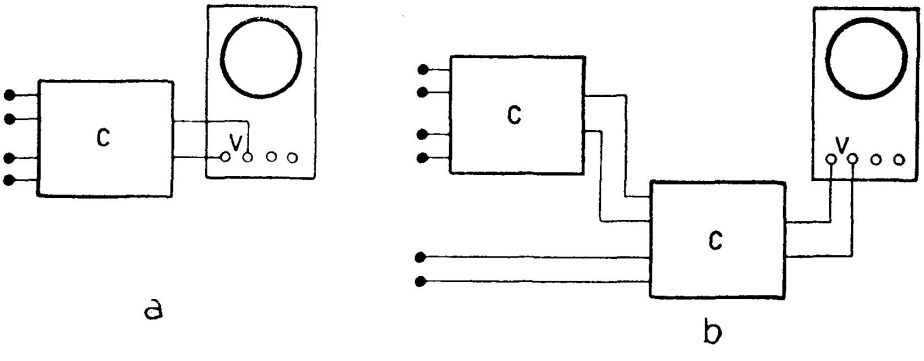


Fig. 34 - Applicazione del commutatore elettronico (*C*) per l'esame contemporaneo di più segnali con un oscilloscopio ad una sola traccia.

a) - Applicazione di un solo commutatore per l'esame contemporaneo di due segnali
b) - Applicazione di due commutatori elettronici per l'esame di tre segnali

Ciascun canale è dotato di un amplificatore separato con manopole di comando sul pannello frontale per regolare il guadagno e la posizione della traccia relativa. Un multivibratore genera un segnale rettangolare che alternativamente blocca i due amplificatori in modo da dare in uscita una successione di punti appartenenti ai due segnali.

La frequenza del multivibratore è regolabile con un comando in modo da mantenere la frequenza della commutazione sempre molto più alta di quella dei segnali riprodotti e tale da originare sullo schermo due tracce continue: si può arrivare fino ad una frequenza di 1 MHz.

La regolazione in altezza permette di spostare le tracce in modo che siano separate oppure sovrapposte. In quest'ultimo caso è possibile un confronto diretto anche quantitativo delle tensioni purchè si siano tarati i guadagni. Per far questo si può applicare in un primo momento il medesimo segnale ad entrambe le entrate e regolare i comandi in modo che le due curve risultino perfettamente sovrapposte, dopodichè si può procedere alla misura. Se gli amplificatori da attraversare sono tutti ad accoppiamento diretto, ad una entrata può essere applicata una tensione continua di valore noto che può servire come linea di riferimento per la lettura sulla seconda traccia del valore in volt.

Usando due o tre commutatori elettronici, come indicato schematicamente in figura 34 *b*, si possono ottenere sullo schermo rispettivamente tre o quattro tracce simultanee.

Questo dispositivo può anche essere usato come generatore di un'onda rettangolare (quella prodotta dal multivibratore) quando venga impiegato senza applicarvi alcun segnale in entrata.

Generatore di segnale tarato.

Alcuni oscilloscopi più completi possiedono un generatore proprio di segnale rettangolare tarato che viene usato per la valutazione diretta in volt della traccia; in molti altri casi si può ricorrere ad un generatore separato il quale immette il segnale nell'oscilloscopio attraverso i suoi morsetti di deflessione verticale. L'intervallo di tensione del segnale rettangolare è regolabile con continuità fra 0 e 100 V e può essere letto direttamente sulle manopole poste sul frontale dell'apparecchio. Per comodità d'impiego, spesso queste apparecchiature hanno due morsetti ai quali si invia il segnale in studio. In tal modo, azionando un commutatore, è possibile passare da questo al segnale tarato senza dover modificare alcun collegamento (fig. 35). La valutazione della tensione si effettua in questo caso osservando dapprima la traccia in esame poi, dopo aver commutato sul segnale tarato, regolando i comandi in modo che esso abbia la medesima ampiezza: la tensione si legge allora direttamente sulle scale segnate sulle manopole.

Il generatore può essere impiegato anche per determinare il fattore di deflessione di un oscilloscopio i cui comandi di deflessione siano disposti in una certa posizione. Per far questo basta applicare il segnale tarato e

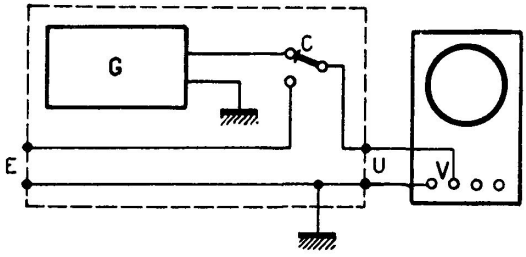


Fig. 35 - Applicazione di un generatore di segnale tarato con commutatore al fine di consentire l'applicazione alle placche verticali del segnale tarato oppure direttamente della grandezza in prova.

G – Unità generatrice
C – Commutatore per l'esclusione dell'unità
E – Segnale in entrata
U – Segnale in uscita
V – Morsetti delle placche verticali

rilevare la deflessione in centimetri sullo schermo. Dalla posizione delle manopole di comando dello strumento si rileva il valore della tensione applicata: il rapporto fra questa e la deflessione fornisce il fattore di deflessione misurato in volt/cm.

Generatore della base dei tempi.

Talvolta può essere necessario avere sullo schermo un riferimento diretto al tempo per valutare la durata dei fenomeni. Lo scopo si può raggiungere sia utilizzando una seconda traccia che presenti un picco ogni determinato intervallo di tempo (in tal caso occorre un oscilloscopio a doppia traccia o uno normale con commutatore elettronico) oppure interdicendo la traccia principale ad intervalli noti inviando un segnale di polarità negativa alla griglia del tubo tramite il morsetto « soppressione » (fig. 36).

In entrambi i casi occorre un dispositivo esterno che dia la cadenza del tempo; a questo scopo si può impiegare un oscillatore tarato, nel quale l'intervallo del segnale trasmesso all'oscilloscopio è determinato con precisione e si può conoscere tramite le manopole graduate che si trovano sul frontale.

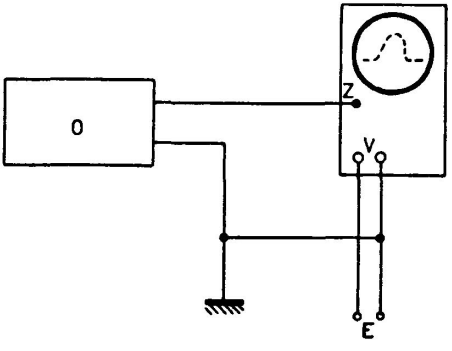


Fig. 36 - Applicazione di polarità negativa di frequenza nota al morsetto « soppressione » per la valutazione del tempo sulle tracce.

Apparecchiature per la registrazione oscilloscopica.

In molti casi l'osservazione ottica dei fenomeni all'oscilloscopio è sufficiente per uno studio completo, mentre in altre circostanze è necessario disporre di una registrazione della traccia apparsa sullo strumento.

Questa necessità si verifica, ad esempio, quando si debbano effettuare delle ricerche e delle misure che richiedono molto tempo o per le quali occorre lavorare al tavolo da disegno. Per i fenomeni transitori spesso l'osservazione diretta non è sufficiente perchè la rapidità con la quale la traccia sparisce dopo l'evento non consente una valutazione esatta ed occorre ancora valersi della registrazione fotografica.

In alcuni casi l'oscillogramma si può ottenere con metodo diretto applicando la carta sensibile a contatto dello schermo in modo che venga colpita dal flusso elettronico stesso che eccita anche la fluorescenza del tubo. Tuttavia il sistema di impiego più frequente è quello della ripresa con una normale macchina fotografica (o se necessario cinematografica) focalizzata sullo schermo a distanza molto ravvicinata. Molto spesso, per poter verificare immediatamente se la ripresa è venuta bene, si impiega una macchina Polaroid che fornisce la copia fotografica in meno di un minuto. Parecchi oscilloscopi hanno una flangia alla quale si collega un tubo all'altra estremità del quale viene applicata la macchina fotografica: in tal modo si lavora in ambiente buio anche se il locale è illuminato ed è possibile mantenere aperto l'otturatore per un tempo indefinito. Ciò permette di avere una buona registrazione dei fenomeni periodici anche se l'intensità luminosa è mantenuta bassa per avere una maggiore chiarezza dell'immagine ed anche con materiali fluorescenti verdi che, come è noto, impressionano la gelatina sensibile in misura minore di altri colori, mentre costituiscono la radiazione alla quale l'occhio umano è più sensibile.

Questa disposizione è utile anche per i transitori, per i quali è consigliabile l'impiego di tubi di fluorescenza blu e grande luminosità, poichè data l'estrema rapidità di esplorazione dello schermo si evita di dover impiegare complessi apparecchi di sincronizzazione dell'otturatore il quale in tal caso dovrebbe essere comandato dal segnale emesso dalla base dei tempi e che viene portato su un apposito morsetto.

Il tubo che crea la camera oscura per la macchina possiede spesso uno schermo di osservazione dal quale è ugualmente possibile vedere la traccia che compare sull'oscilloscopio (fig. 37).

La registrazione cinematografica può essere eseguita per diversi scopi, oltre a quello di impressionare dei fotogrammi che mostrino nella successiva proiezione i mutamenti della traccia nel tempo.

Infatti, generalmente la registrazione per mezzo di speciali macchine da presa permette di ottenere una sola registrazione della traccia avente speciali caratteristiche ed in questo caso non viene impiegata la croce di Malta esistente nelle normali macchine da presa.

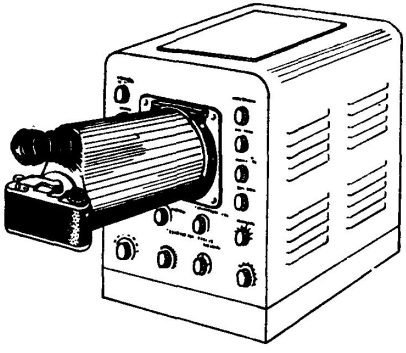


Fig. 37 - Apparecchiature ausiliarie per un oscilloscopio a raggi catodici.
Applicazione di una macchina fotografica per la registrazione dell'immagine. L'operatore può osservare l'immagine apparsa sullo schermo attraverso un oculare posto sopra la macchina fotografica.

Un primo impiego è quello di registrare con continuità fenomeni a frequenza non superiore ai 10 kc/sec eliminando la base dei tempi: la traccia viene così ad oscillare solo in senso verticale al centro dello schermo ed il movimento orizzontale è dato solamente dalla pellicola che scorre dinanzi allo schermo fluorescente. Naturalmente se la pellicola si muove verticalmente occorre che il segnale sia applicato alle placche di deflessione orizzontale.

La registrazione su fotogrammi separati di ogni curva disegnata dal movimento orizzontale della traccia, che permette di proiettare filmato l'evolversi di questa curva nel tempo, è possibile se la frequenza della base dei tempi è inferiore a quella massima di spostamento della pellicola.

Infine è possibile impiegare la macchina da presa per rendere più chiaramente interpretabili fenomeni transitori aventi una componente iniziale ad alta frequenza e che termina con componenti di frequenza inferiore. In questo caso basta che l'asse dei tempi provochi un rapido spostamento iniziale della traccia e che la mantenga poi all'estremo dello schermo fino a quando il fenomeno è terminato. Si ottiene così che la prima fase del fenomeno sia registrata con una velocità di spostamento orizzontale pari alla somma di quella della base dei tempi e della pellicola, mentre nella seconda fase, quando la traccia si muove solo in senso verticale, lo spostamento verticale lento utile per le componenti di bassa frequenza è dato solamente dal movimento della pellicola.

Quando si devono registrare fenomeni transitori il cui inizio non è prevedibile a priori e che possono verificarsi dopo lunghi intervalli di tempo, può essere utile impiegare il sistema di registrazione con un anello chiuso di pellicola, che ruota con continuità davanti all'obbiettivo pronto per cogliere il momento nel quale ha inizio il fenomeno ed il tubo si accende e parte la base dei tempi. Si può così cogliere un fenomeno poco frequente senza dover sciupare grandi quantità di pellicola che si muovono senza che vi sia nulla da registrare o senza rischiare di avere la macchina ferma nel momento in cui ha inizio il fenomeno.

Una interessante innovazione introdotta molto recentemente in certi tipi di oscilloscopio per quanto riguarda le costanti di misura dei canali verticale ed orizzontale è la seguente: l'indicazione del valore scelto dall'operatore mediante gli appositi commutatori di portata non appare inciso in fianco alle manopole dei commutatori come solitamente, bensì direttamente sullo schermo oscilloscopico, ai suoi margini naturalmente, mediante minuscoli diodi luminosi che formano le cifre richieste. Questa innovazione risulta molto comoda allorchè si deve fotografare il fenomeno visualizzato in quanto appaiono direttamente sulla fotografia anche le costanti di misura che servono a quantificare il fenomeno stesso.

CAPITOLO VIII

MISURE DI TENSIONE E DI CORRENTE CON L'OSCILLOSCOPIO

Gli impieghi dell'oscilloscopio possono essere numerosissimi nei più disparati campi della tecnica: difficile sarebbe enumerarli tutti.

Noi qui ci limiteremo a descrivere i metodi principali e di impiego più comune, i quali d'altra parte potranno servire come valida guida per l'esecuzione di misure speciali.

Le varie applicazioni saranno suddivise in base al tipo di grandezza presa in esame e precisamente: tensione e corrente, frequenza, fattore di potenza e sfasamento, misure di impedenza e delle caratteristiche dei materiali, misure di grandezze meccaniche.

Come è noto **la grandezza alla quale è sensibile l'oscilloscopio è la tensione e ad essa vanno riportate tutte le grandezze di altra natura per mezzo di trasduttori**, quali ad esempio i microfoni (per i fenomeni acustici), le fotocellule (per la misura dell'intensità di luce), i pick-up a vibrazione (fenomeni vibratori meccanici), le termocoppie (misure sul calore), ecc.

Misure di tensione.

Le misure di tensione sono le più semplici poichè si effettuano direttamente senza alcun collegamento intermedio. Tensioni da qualche volt fino a qualche centinaio (a seconda del tipo di oscilloscopio) possono essere misurate collegandosi direttamente alle placche deflettrici, sulle quali si ha un fattore di deflessione variabile da pochi volt/cm ad alcune decine di volt/cm.

Per tensioni inferiori ci si deve collegare invece ai morsetti d'ingresso dell'amplificatore delle placche verticali, il quale negli strumenti normali ha una buona curva di risposta da pochi Hz fino all'ordine di qualche MHz. In taluni casi l'amplificatore può funzionare anche per tensioni continue.

Per tensioni molto elevate si può usare l'accoppiamento con un trasformatore di elevata precisione oppure con un circuito potenziometrico.

L'impedenza d'ingresso sia all'amplificatore che direttamente alle placche varia da poco meno di un Mohm ad alcuni Mohm.

Quando non esista un dispositivo interno, la taratura dell'oscilloscopio può essere fatta collegandolo in parallelo con un voltmetro oppure inviando una tensione nota prodotta da un generatore di segnale tarato.

L'utilità d'impiego dell'oscilloscopio in confronto ai normali strumenti indicatori è dovuta fra l'altro alla possibilità di vedere anche la forma d'onda della tensione da misurare quando si siano collegate le placche deflettrici orizzontali alla base dei tempi.

Nelle tavole 5-6 sono riportate le principali norme per effettuare la misura di tensioni continue ed alternate.

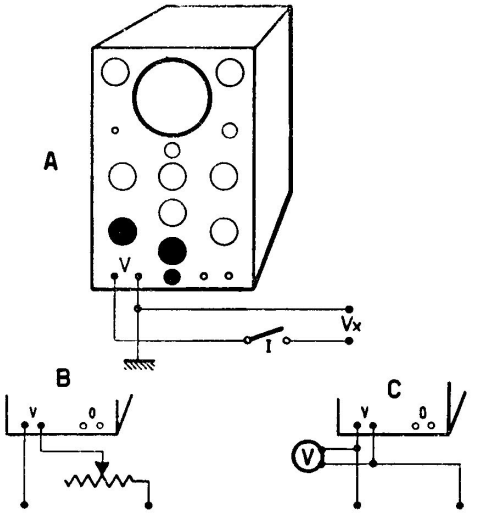
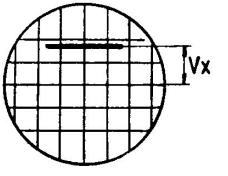
Misure di corrente.

Le misure di corrente si possono ricondurre a una valutazione di tensione provocando una caduta di tensione ai capi di una resistenza che si collega ai morsetti dello strumento. In questo caso il fattore di deflessione di x volt/cm deve essere interpretato come y ampere/cm esistendo fra i due la relazione:

$$y = x/R$$

dove R rappresenta il valore della resistenza impiegata (vedasi tav. 7).

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI TENSIONI CONTINUE	Tavola **5**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore dell'asse dei tempi su *Int.* e la frequenza su un valore *basso* (20, oppure 50 Hz).

Durante la misura: Agire sul comando *Ampiezza* V, fino ad ottenere una immagine compresa sullo schermo, ed abbastanza alta per avere una maggiore precisione nella valutazione.

Interpretazion dell'immagine

E' necessario conoscere preventivamente il fattore di deflessione, ossia i volt/cm. Occorre tarare lo strumento mediante un voltmetro campione ed inviando una tensione nota (vedi schema *C*).

Alcuni strumenti sono dotati di un dispositivo per la determinazione diretta del fattore di deflessione: in questo caso la taratura si effettua agendo sull'ampiezza *V*, che nel corso della misura non deve essere più toccata.

Se la tensione da misurare è troppo elevata (superiore a circa 500 V) occorre impiegare un partitore di tensiane (schema *B*).

Avvertenze

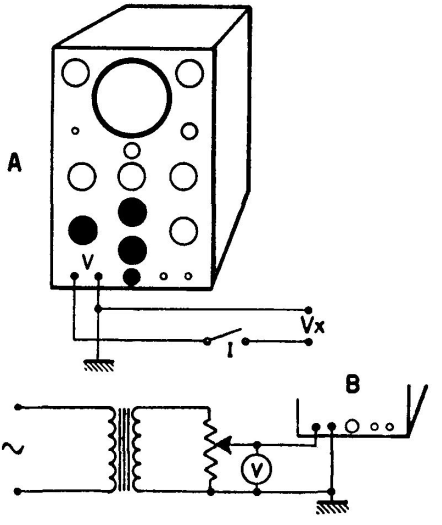
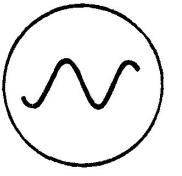
E' opportuno interporre un interruttore *I*, da chiudersi dopo aver già posto in funzione l'apparecchio.

Non tutti gli oscilloscopi dispongono di amplificatori per corrente continua per cui può essere necessario inserirsi sui collegamenti diretti alle placche deflettrici (posti lateralmente o dietro l'apparecchio).

Evitare di eseguire la misura se l'asse dei tempi non è inserito perchè un punto fisso sullo schermo potrebbe deteriorarlo.

E' consigliabile collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche verticali, per evitare il formarsi di tensioni elevate rispetto alle apparecchiature esterne.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI TENSIONI ALTERNATE	Tavola **6**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* e la frequenza su un valore vicino a quello della frequenza in esame, fissando poi l'immagine agendo sulla regolazione fine di *frequenza.* Se l'immagine tende a sfuggire, aumentare il *sincronismo.*

Durante la misura: Agire sul comando *Ampiezza* V per avere l'immagine compress nello schermo. Se si vuole osservare una parte della traccia ridurre la *frequenza* e viceversa per vedere numerosi cicli sullo schermo.

Interpretazione dell'immagine

Per la taratura regolarsi come indicato alla tavola precedente e ricordando che in questo caso il segnale è alla linea di zero.

La taratura (schema *B*) si effettua inviando un segnale dalla rete a frequenza industriale attraverso un trasformatore e un potenziometro la cui posizione si regola osservando il voltmetro.

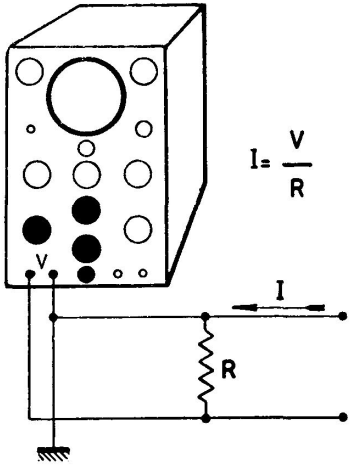
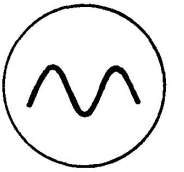
Avvertenze

E' opportuno interporre un interruttore *I*, da chiudersi dopo aver posto in funzione l'oscilloscopio.

E' opportuno collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche verticali per evitare il formarsi di tensioni elevate rispetto alle apparecchiature esterne.

Se la frequenza del segnale è molto elevata (superiore a 200 ÷ 300 kHz) è bene collegarsi direttamente alle placche deflettrici (poste lateralmente o dietro lo strumento) perchè l'amplificatore inserito nel circuito può falsare le misure.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI CORRENTE	Tavola 7

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Poichè la misura si effettua valutando la caduta di tensione ai capi di una resistenza R (di valore noto), l'oscilloscopio viene impiegato nel modo indicato nelle due tavole precedenti, rispettivamente per la misura di tensioni alternate e continue.

Interpretazione dell'immagine

Conoscendo il valore della resistenza campione R, e determinando la caduta di tensione V ai capi della resistenza (attraverso la misurazione della traccia luminosa), la corrente che circola nel circuito è data dalla semplice relazione della legge di Ohm. Pertanto, dopo aver eseguito la taratura come indicato nelle tavole precedenti, il fattore di deflessione sarà dato dalla relazione:

$$\text{ampere/cm} = \frac{\text{volt/cm}}{R}$$

Avvertenze

Sono valide le osservazioni indicate per le misure di tensione.

Per misure di precisione, usare resistenze campione.

CAPITOLO IX

MISURE DI FREQUENZA, FATTORE DI POTENZA E DI SFASAMENTO CON L'OSCILLOSCOPIO

Questo tipo di misure non è di realizzazione immediata come quella di tensione e di corrente esaminate al capitolo precedente, anche per il fatto che non si tratta più semplicemente di determinare l'ampiezza di un segnale, ma occorre effettuarne il confronto con un altro tenendo in considerazione la forma che la figura assume sullo schermo. E' anzi da questo esame che è possibile ricavare i dati voluti.

Misure di frequenza.

Un primo metodo consiste nel paragone fra la frequenza generata da un segnale sinusoidale in esame ed una frequenza campione, dal quale è possibile dedurre non solo la frequenza incognita ma anche il suo rapporto di fase con quella conosciuta.

Esso consiste nell'applicare ai morsetti di deviazione verticale la tensione corrispondente alla frequenza da esaminare e a quelli di deviazione orizzontale quella campione, prodotta da un generatore a frequenza variabile con continuità. Infatti per ottenere una figura fissa sullo schermo occorre che le due frequenze stiano fra loro in un rapporto intero (cioè una sia esattamente multipla dell'altra) ed è quindi necessario che la frequenza campione possa essere regolata con continuità.

La traccia che si ottiene sullo schermo corrisponde a una delle figure di Lissajous, dalla cui interpretazione si possono ricavare i dati richiesti. Nel caso in cui le due frequenze sono uguali le figure che si possono ottenere sono delle rette o delle ellissi e precisamente:

1° – Se le due sinusoidi sono in fase si ottiene sullo schermo una retta inclinata (fig. 38);

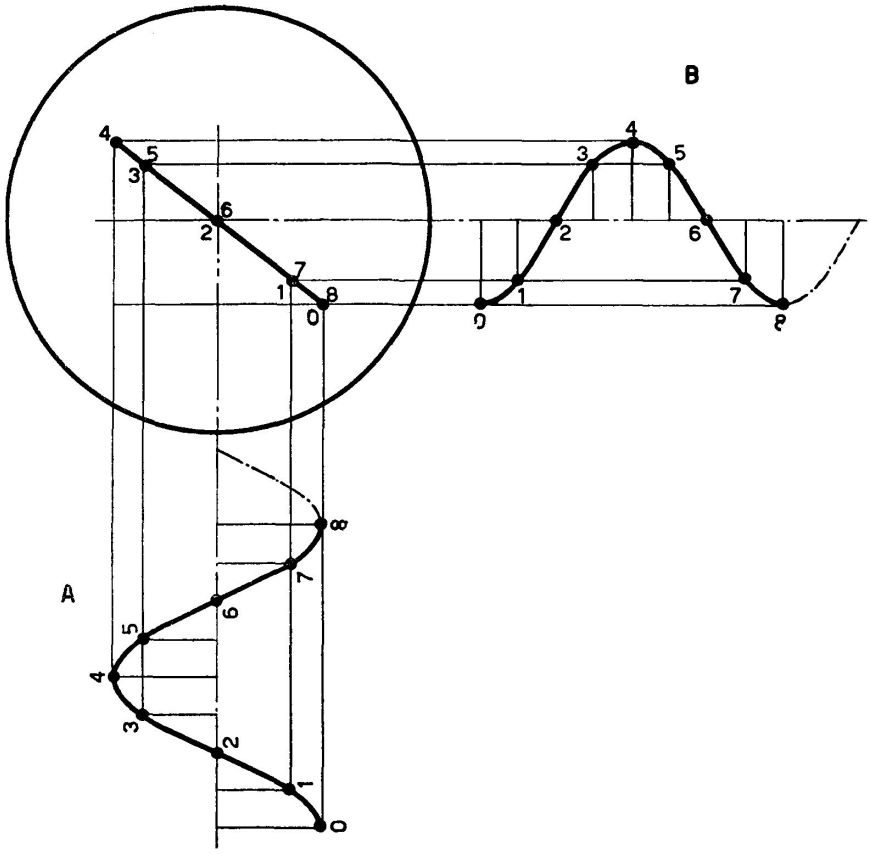


Fig. 38 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze in fase.

A - Tensione applicata alle placche orizzontali
B - Tensione applicata alle placche verticali

2° – se le due sinusoidi sono sfasate di 45° si ottiene una ellisse con gli assi inclinati di 45° sulla verticale (fig. 39);

3° – se le due sinusoidi sono in quadratura ed hanno ampiezze diverse si ottiene ancora una ellisse ma con gli assi rispettivamente parallelo e perpendicolare alla direzione verticale (la lunghezza di questi assi corrisponde alle ampiezze relative a ciascuno di essi) (fig. 40);

4° – nel caso particolare in cui le due ampiezze siano uguali, la figura diviene un cerchio (fig. 41);

5° – se poi le sinusoidi sono in opposizione di fase, si ottiene ancora una retta, la cui inclinazione è però opposta a quella della retta del caso 1° (fig. 42).

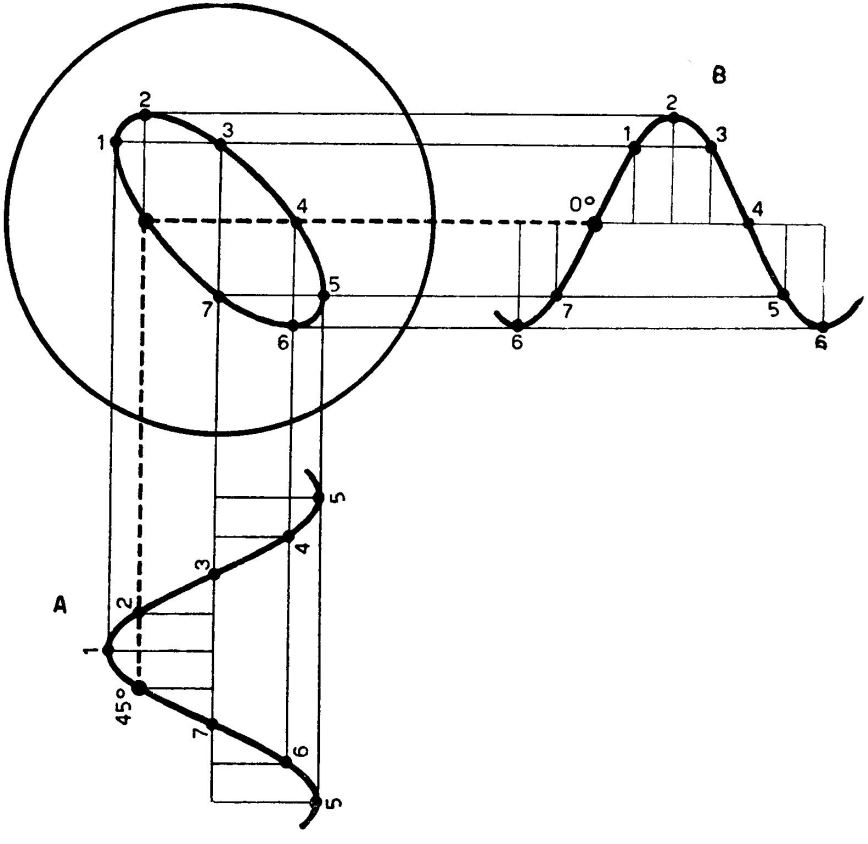


Fig. 39 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate delle frequenze sfasate fra loro di 45°.

A – Tensione applicata alle placche orizzontali
B – Tensione applicata alle placche verticali

In tutte le figure è stata anche indicata la costruzione grafica che dà una idea di come queste figure si generano sullo schermo: la sinusoide disegnata con asse verticale corrisponde al segnale applicato alle placche di deviazione orizzontale, l'altra a quello applicato alle placche verticali.

Dall'esame di queste figure si può notare come, al variare dello sfasamento, rimanga costante in ogni caso l'ampiezza di esplorazione del fascio in senso verticale od orizzontale (perchè questo dipende dall'intensità dei due segnali che non varia) e la figura passi lentamente da una retta (segnali in fase) ad un ellisse ad asse inclinato (sfasatura variabile da 0° a 90°), ad un ellisse ad asse verticale (segnali in quadratura), ad un ellisse ad asse ancora inclinato ma in senso opposto (sfasatura variabile da 90°

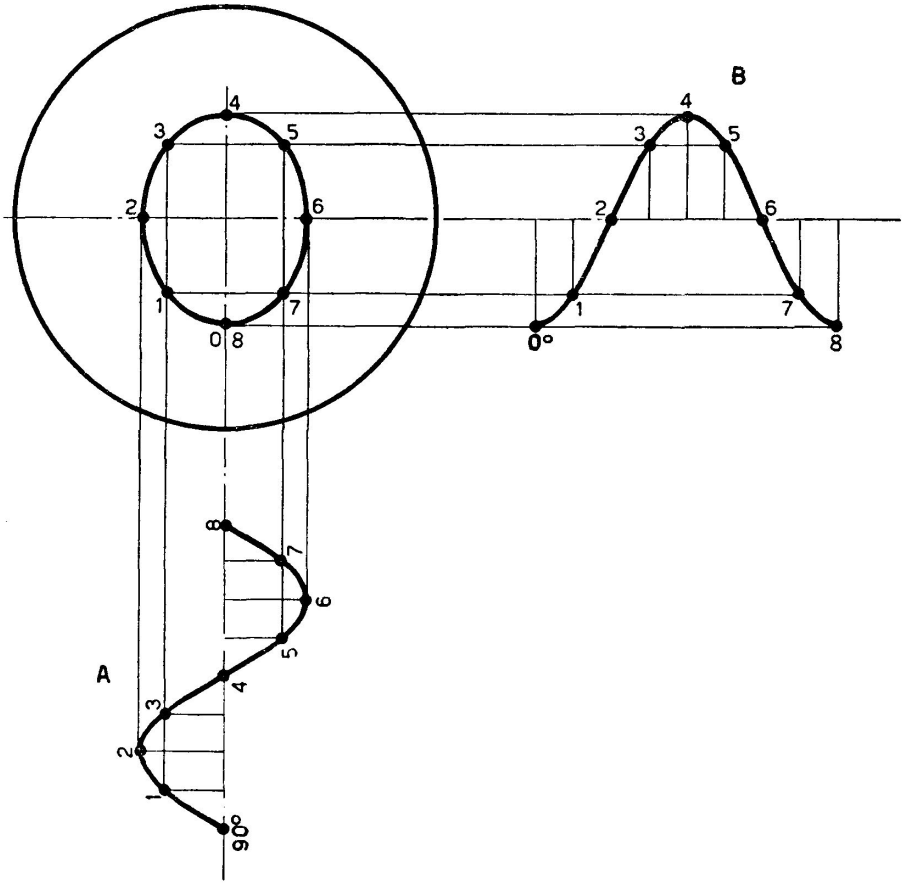


Fig. 40 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze in quadratura e di ampiezza diversa.
A – Tensione applicata alle placche orizzontali
B – Tensione applicata alle placche verticali

a 180°) per giungere fino ad un'altra retta inclinata in senso opposto (segnali in opposizione). Continuando ad aumentare il segnale di sfasatura la deformazione della figura si ripete in modo analogo (fig. 43).

Nel caso di frequenze differenti, ma sempre aventi un rapporto numericamente intero (doppia, tripla, ecc.) perchè altrimenti la figura che si ottiene non rimane fissa sullo schermo, la traccia viene intrecciata come è indicato nelle figure 44, 45 e 46 (e riassunte nelle tav. 8, 9 a pagg. 75, 76).

Il rapporto esistente fra le due frequenze applicate si può conoscere determinando i punti di tangenza che la traccia ha con due lati consecutivi

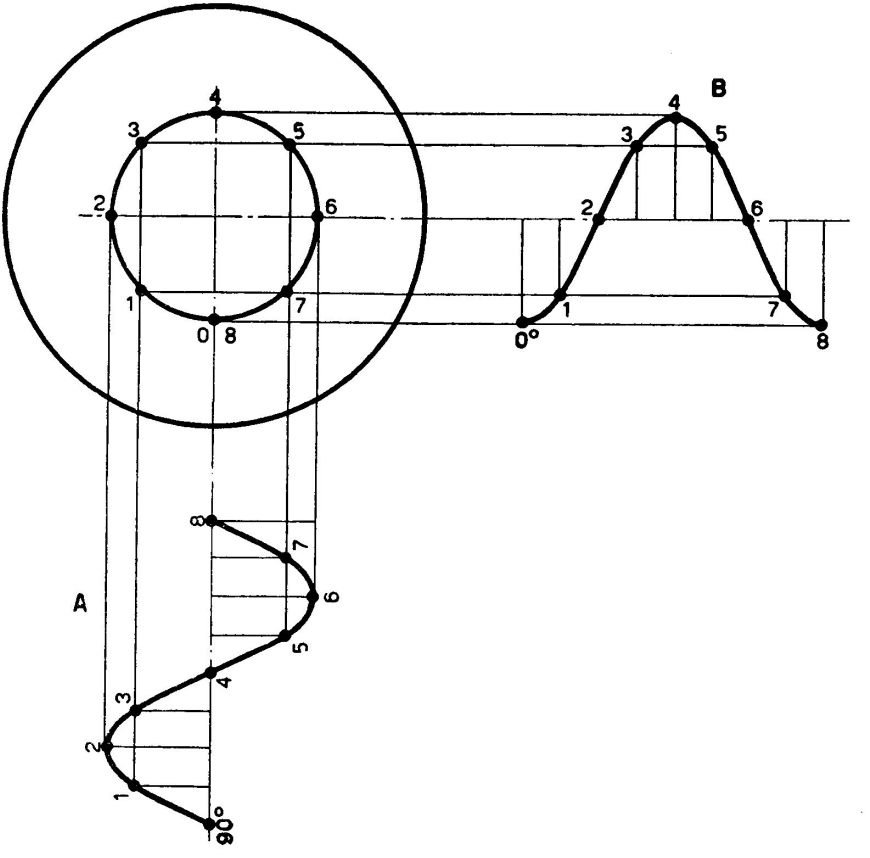


Fig. 41 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze in quadratura e di eguale ampiezza.
A – Tensione applicata alle placche orizzontali
B – Tensione applicata alle placche verticali

del rettangolo che la circoscrive. Nella figura 46, ad esempio, vediamo che un lato verticale del rettangolo tocca la curva in tre punti, mentre un lato orizzontale tocca solo in un punto: il rapporto è appunto 3 : 1.

La frequenza può essere determinata con la massima precisione anche nel caso in cui non si disponga di una frequenza campione variabile con continuità: infatti in questo caso, se esistono piccole differenze di frequenza, la figura ruoterà sullo schermo. Contando il numero di tali rotazioni complete al secondo si potrà conoscere con grandissima precisione lo scarto esistente fra le due frequenze. Naturalmente anche in questo caso si dovrà tener conto del numero di punti di tangenza poichè la frequenza incognita potrebbe essere, ad esempio, tre volte più qualchecosa la frequenza cam-

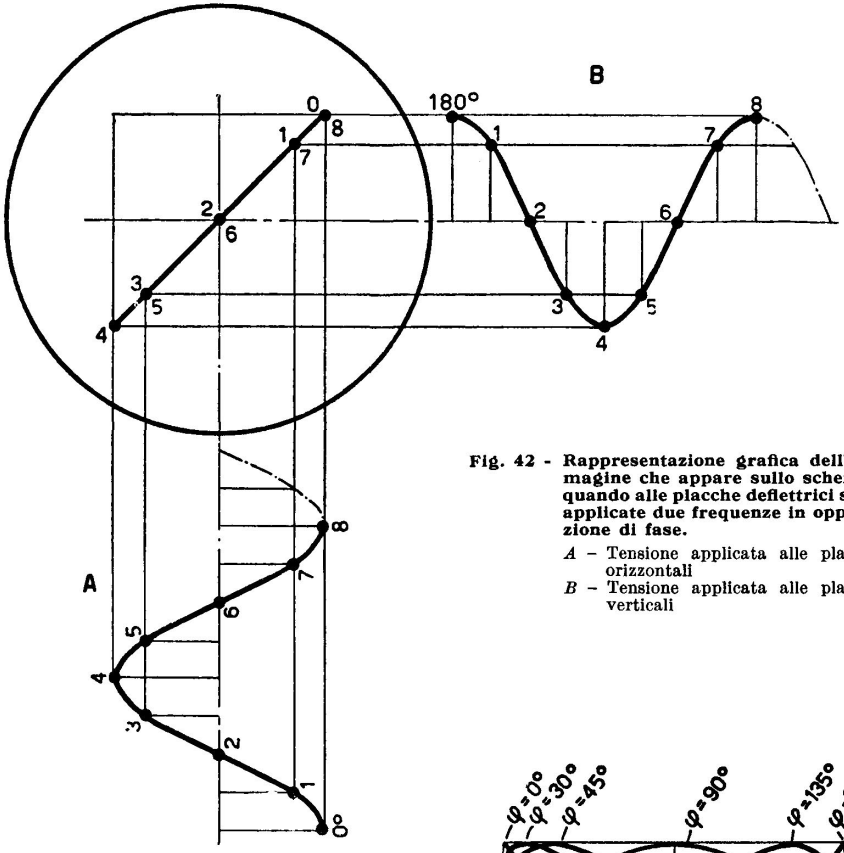


Fig. 42 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze in opposizione di fase.

A – Tensione applicata alle placche orizzontali

B – Tensione applicata alle placche verticali

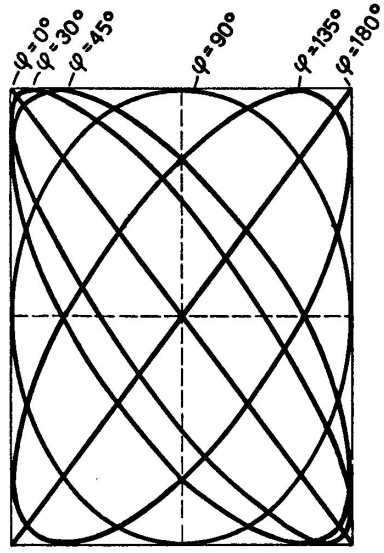


Fig. 43 - Sequenza delle immagini che appaiono sullo schermo in relazione agli sfasamenti delle frequenze applicate alle placche deflettrici.

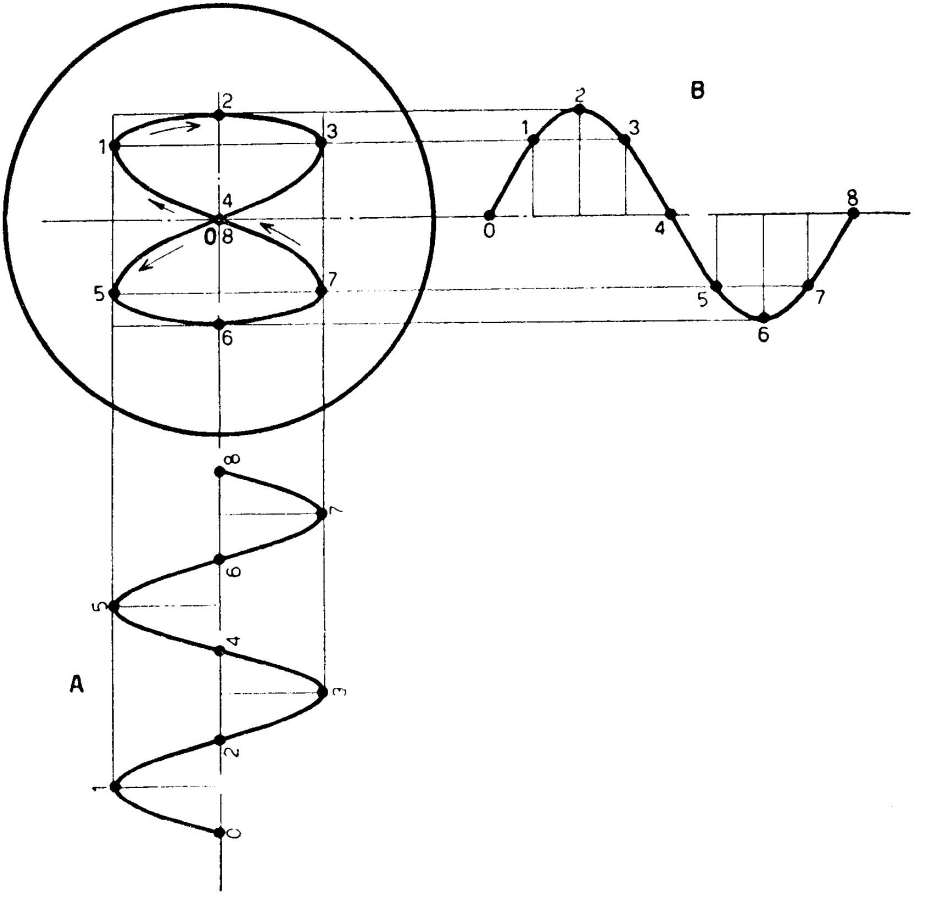


Fig. 44 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze i cui valori numerici sono in rapporto 2 : 1 ed in fase.
A – Tensione applicata alle placche orizzontali, di frequenza doppia di quella applicata alle placche *B*.
B – Tensione applicata alle placche verticali

pione se la figura che ruota è simile a quella di figura 46, mentre esse differirebbero solo della piccola frazione determinata dalla rotazione della figura se essa fosse simile a una di quelle tracciate nelle figure 38 e 47.

Un altro metodo di misura di una frequenza è quello che impiega un circuito sfasatore e che dà sempre luogo ad una figura base ellittica. Esso è particolarmente utile quando il rapporto esistente fra le frequenze è elevato (in generale superiore a dieci), perchè con le figure di Lissajous risulterebbe difficile poter contare con precisione i numerosi punti di tangenza che risultano molto vicini fra di loro.

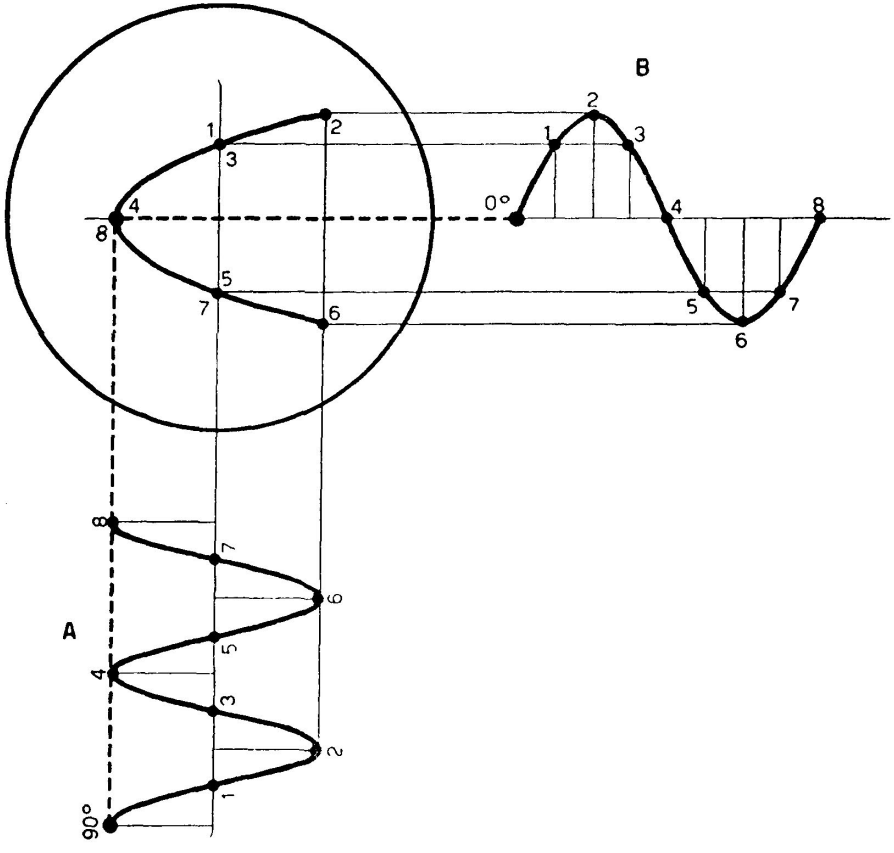


Fig. 45 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze i cui valori numerici sono in rapporto 2 : 1, ma sfasate di 90°.

A – Tensione applicata alle placche orizzontali, di frequenza doppia di quella applicata alle placche *B*
B – Tensione applicata alle placche verticali

La tensione nota viene applicata agli estremi di un circuito sfasatore costituito da una capacità e da una resistenza. Il punto centrale di questo circuito viene collegato al morsetto di massa di una o di entrambe le placche deviatrici, mentre l'estremo libero del condensatore è applicato all'altro morsetto di deviazione verticale. Il terminale libero della resistenza si collega ad un morsetto della frequenza in esame, il cui secondo terminale va sull'altro morsetto di deviazione orizzontale. In tal modo sugli elettrodi verticali va un segnale corrispondente alla frequenza nota e su quelli orizzontali uno che è la somma della frequenza nota e di quella in esame. Poichè la derivazione è effettuata, rispettivamente, sul condensatore e sul re-

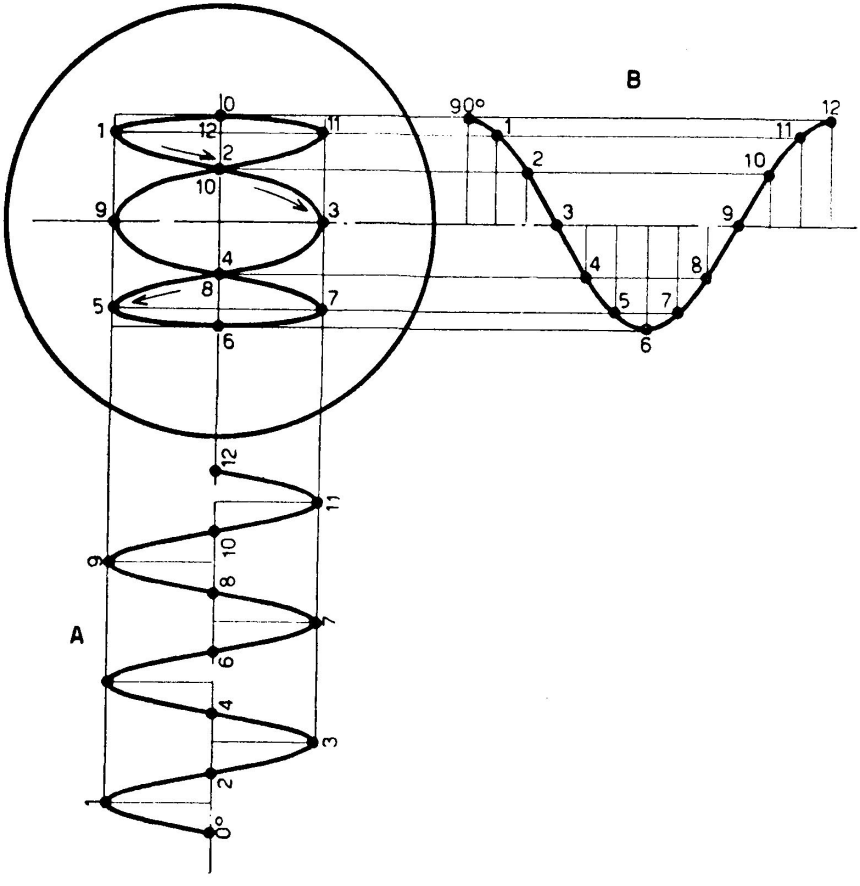


Fig. 46 - Rappresentazione grafica dell'immagine che appare sullo schermo quando alle placche deflettrici sono applicate due frequenze i cui valori numerici sono in rapporto 3 : 1 e sfasate di 90°.

A – Tensione applicata alle placche orizzontali e di frequenza tripla di quella applicata alle placche *B*
B – Tensione applicata alle placche verticali

sistore, la frequenza nota è portata sulle due placche con uno sfasamento di 90° per cui si avrà una traccia ellittica sagomata con delle sinusoidi, orizzontali corrispondenti alla modulazione data dall'aggiunta della frequenza incognita sugli elettrodi di deviazione orizzontale (fig. 47).

Il numero di creste esterne di questa figura indica il rapporto di frequenza cercato; se sullo schermo compaiono due serie di sinusoidi intrecciate, significa che il rapporto delle frequenze è frazionario ed occorre allora dividere per due il numero delle creste (vedasi pure tav. 10 a pag. 77).

Infine, se la figura è dotata di un movimento rotatorio, significa che

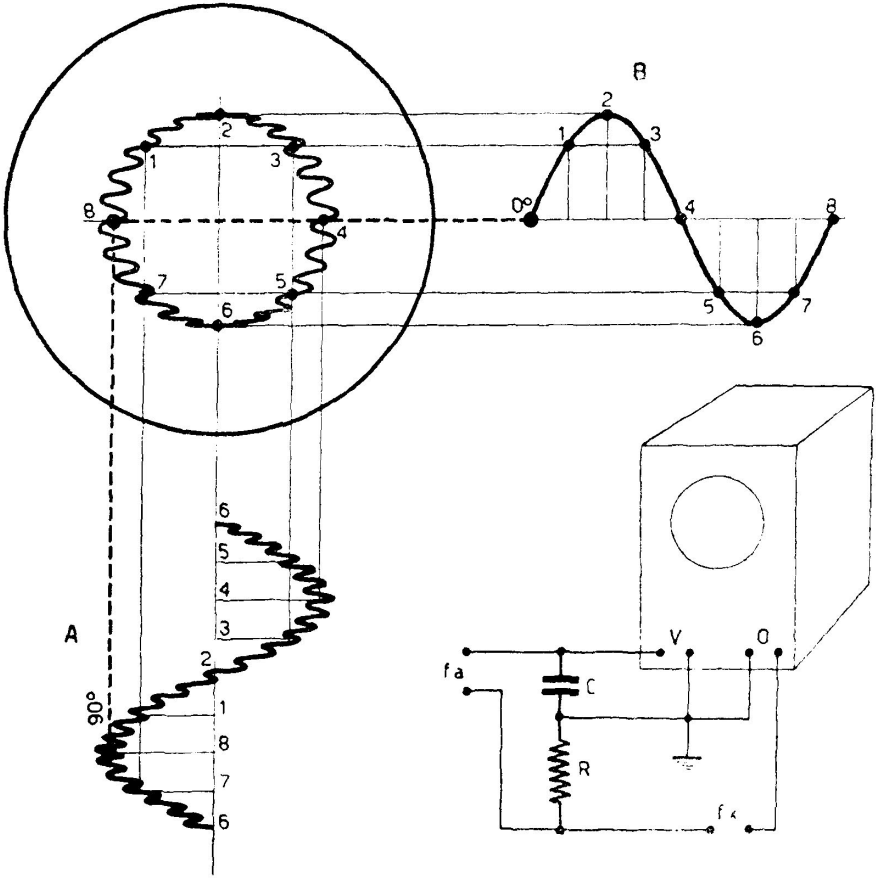


Fig. 47 - Impiego di un circuito sfasatore, adottabile quando il rapporto esistente fra le due frequenze è elevato (superiore a dieci).

fa – Frequenza nota
fx – Frequenza incognita
C – Condensatore di accoppiamento
R – Resistenza destinata a ridurre al valore voluto la tensione alle placche orizzontali
V – Morsetti delle placche verticali
O – Morsetti delle placche orizzontali
Il numero esterno delle creste indica il rapporto di frequenza cercato.

fra le due frequenze esiste una leggera differenza, che si può valutare misurando il numero di rotazioni complete al secondo: inoltre il senso della rotazione indica se tale differenza è positiva o negativa.

Misure del tempo.

Quando si devono esaminare dei fenomeni transitori o in generale aperiodici, la definizione di frequenza valida per segnali sinusoidali perde la sua immediatezza di significato, per cui è più pratico parlare di valutazione del tempo in cui il fenomeno si svolge.

A questo scopo il generatore di frequenza viene applicato fra il morsetto di soppressione e la massa in modo da dare luogo ad una traccia formata da una linea tratteggiata nella quale ogni intervallo fra un tratto e l'altro corrisponde ad un intervallo di tempo ben definito. Se, ad esempio, si impiega una frequenza di 5 kHz, l'intervallo corrisponde a 1/5000 di secondo.

Naturalmente in questo caso non si applica segnale esterno alle placche di deviazione orizzontali, ma si pilota la deflessione in questa direzione tramite il generatore della base dei tempi (vedi tav. 11 a pag. 82).

Misure del fattore di potenza e dello sfasamento.

Nel paragrafo precedente, parlando del metodo di Lissajous, si è messo in evidenza come la valutazione della frequenza permetta anche di mettere in evidenza la relazione di fase esistente fra la tensione incognita e quella campione.

Quindi applicando le due frequenze delle quali è richiesto il rapporto di fase ai morsetti di deviazione verticale ed orizzontale si otterrà una figura di Lissajous (retta, ellisse o cerchio) corrispondente ad un rapporto di frequenza 1 : 1, ciò perchè la valutazione dello sfasamento si può fare solo su due grandezze isofrequenziali.

Ricordando quanto si è già scritto in precedenza, si può così riassumere l'interpretazione delle figure sullo schermo:

1° – retta a 45°: i due segnali sono in fase oppure in opposizione;

2° – ellisse con assi inclinati: i due segnali sono sfasati di un angolo che si può valutare nel modo più sotto indicato;

3° – ellisse ad asse verticale: i due segnali sono in quadratura.

Per la valutazione dell'angolo, basta tener presente che l'area dell'ellisse è proporzionale al coseno dell'angolo di sfasamento. Poichè però la misura dell'area non è molto facile è meglio ricorrere al sistema seguente (fig. 48): si misura la lunghezza dei segmenti AB e CD come indicato in figura, il seno dell'angolo di sfasamento è:

$$\sin \varphi = \frac{AB}{CD}.$$

Nel caso di una retta, $AB = 0$, il seno è nullo e l'angolo corrisponde a 0° o 180°; se l'ellisse è verticale, $AB = CD$, il seno vale uno e l'angolo è di 90°.

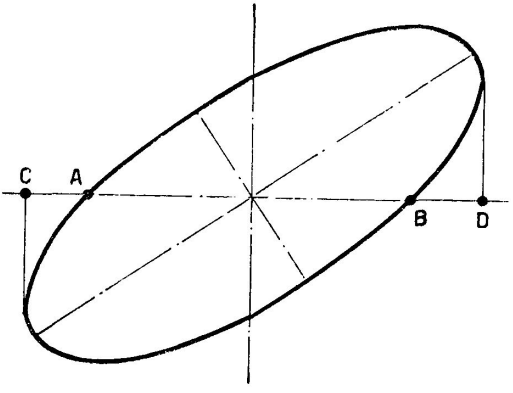


Fig. 48 - Determinazione dell'angolo di sfasamento attraverso il rapporto fra la lunghezza dei segmenti AB, CD.

$$\sin \varphi = \frac{AB}{CD}$$

Il procedimento di misura dello sfasamento vale anche per trovare il fattore di potenza di un circuito, dal quale si deriva la tensione che si applica ad una coppia di morsetti. La corrente viene portata agli altri morsetti per mezzo della caduta di tensione che essa provoca su una resistenza collegata in serie al circuito in esame. Si faccia attenzione al fatto che il morsetto per ciascuna coppia collegato a massa va unito al punto del circuito che è comune alle due connessioni (fig. 49).

Se si esegue una misura di questo genere su un motore elettrico, si può rilevare sull'oscilloscopio come varia il fattore di potenza al mutare del carico osservando i mutamenti che subisse l'ellisse.

Nelle tavole 11, 12 e 13 sono riassunti i vari metodi di misura del fattore di potenza.

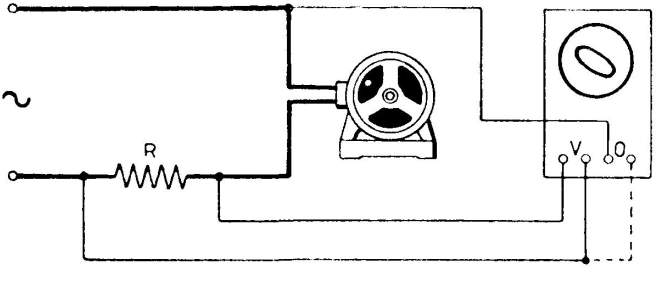
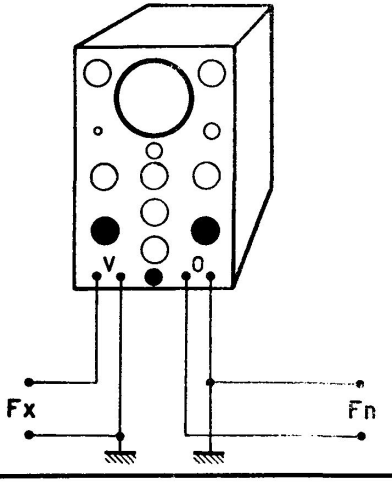


Fig. 49 - Misura del fattore di potenza di un motore elettrico monofase. La resistenza R provoca una caduta di tensione che viene portata alle placche verticali (V).

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI FREQUENZA CON IL METODO DELLE FIGURE DI LISSAJOUS	Tavola **8**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	La forma delle immagini, per i vari rapporti e per i vari sfasamenti fra la frequenza nota e quella in esame, sono illustrate nella tav. 9.

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.*

Durante la misura: Regolare i comandi di *Ampiezza* V e di *Ampiezza* O.

Interpretazione dell'immagine

Cerchio, ellisse, retta: frequenze eguali, variamente sfasate.

Figure intrecciate: il rapporto delle frequenze si determina osservando i punti di tangenza della traccia con i lati consecutivi del rettangolo circoscritto (i punti di tangenza orizzontali corrispondono alla frequenza incognita; quelli verticali alla frequenza nota).

Figure in movimento: indicano che esiste un piccolo scarto fra le due frequenze in paragone. Il numero delle rotazioni complete corrisponde allo scarto di frequenza esistente.

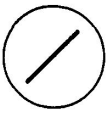
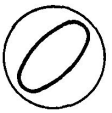
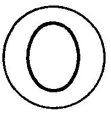
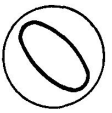
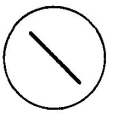
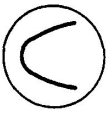
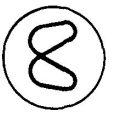
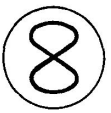
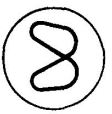
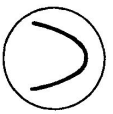
Avvertenze

Collegare a una terra esterna i due morsetti di massa delle placche di deflessione orizzontale e verticale.

Si noti che in certi casi, se la figura rimane fissa, la traccia esplorata da sinistra a destra può coprire la seconda traccia esplorata da destra a sinistra ad essa sovrapposta.

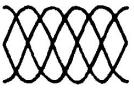
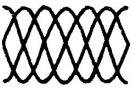
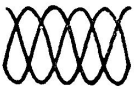
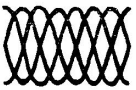
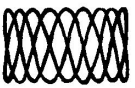
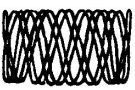
Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	FIGURE DI LISSAJOUS	Tavola 9

Rapporti semplici

Sfasamento fra le due frequenze	180°	135° oppure 225°	90° oppure 270°	45° oppure 315°	0°
FREQUENZE UGUALI	 A	 B	 C	 D	 E
FREQUENZE AVENTI UN RAPPORTO 2:1	 F	 G	 H	 I	 J

Rapporti frazionari

DIVERSI RAPPORTI DI FREQUENZA

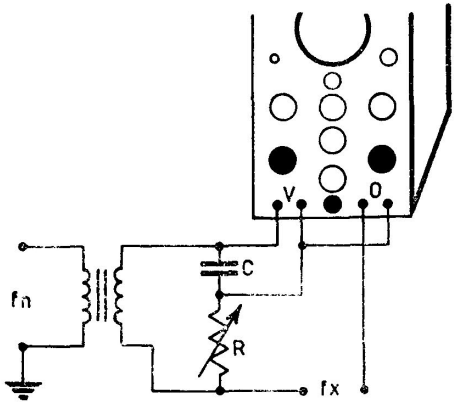
Rapporto fra le due frequenze	IMMAGINE	Rapporto fra le due frequenze	IMMAGINE	Rapporto fra le due frequenze	IMMAGINE
$\frac{5}{4}$		$\frac{8}{6}$		$\frac{7}{5}$	
$\frac{6}{4}$		$\frac{5}{3}$		$\frac{7}{4}$	
$\frac{9}{2}$		$\frac{16}{3}$		$\frac{6}{1}$	

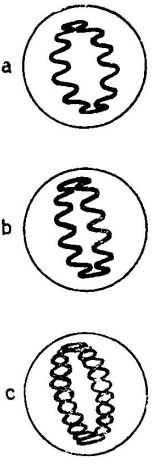
Quando queste immagini non sono fisse ma ruotano lentamente sullo schermo, significa che non esiste un rapporto intero delle frequenze.

La differenza espressa da: $f_1 - f_2 =$ giri/sec, ossia il numero di giri al secondo che compie l'immagine, corrisponde alla differenza delle frequenze. Per il valore del segno occorre tener conto del senso di rotazione e dei collegamenti.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI FREQUENZA CON IL METODO DELLE FIGURE ELLITTICHE	Tavola **10**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo





Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.*

Durante la misura: Regolare i comandi *Ampiezza* V *e Ampiezza* O.

Se la figura che compare sullo schermo è molto stretta (immagine *b*) è bene variare la regolazione di *R* in modo che il suo valore di resistenza si avvicini di più alla reattanza di *C* (ad esempio per una frequenza di 50 Hz a 0,3 μF corrispondono circa 10 kΩ).

Interpretazione dell'immagine

La figura che compare sullo schermo è una ellisse frastagliata da numerose creste.

Rapporto intero: Il numero di creste esterne dà il valore del rapporto fra le frequenze.

Rapporto frazionario: Se il rapporto è frazionario si troveranno due figure intrecciate ed il rapporto si ottiene dividendo per due il numero di creste.

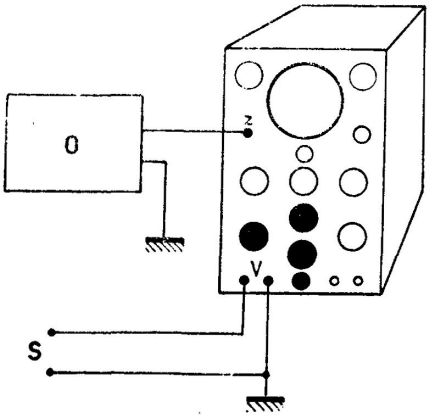
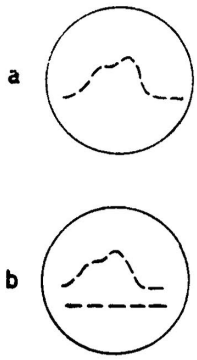
Rapporto non intero: La figura è dotata di un moto rotatorio se il rapporto di frequenze non è intero. A seconda del modo nel quale sono effettuate le connessioni e del senso di rotazione si può capire se la frequenza incognita è superiore o inferiore a quella indicata dal rapporto.

Avvertenze

Per avere una figura chiara è opportuno che la frequenza nota abbia una tensione di alcune volte superiore a quella della frequenza incognita.

I morsetti di massa verticale e orizzontale possono essere collegati fra loro, per assicurare l'uguaglianza della tensione intermedia del circuito *RC* alla quale devono essere riferite le misure.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI FREQUENZA O DEL TEMPO COL METODO DI SOPPRESSIONE DEL RAGGIO	Tavola **11**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutare asse dei tempi su *Int* e la frequenza su un valore corrispondente a quella presunta del fenomeno. Quando esiste, collegare il sistema di deflessione a comando. Inserire un oscillatore che dia in uscita una decina di volt sul morsetto di soppressione, collegando l'altro estremo a massa.

Durante la misura: Aggiustare la frequenza dell'asse dei tempi e dell'oscillatore in base al risultato delle prime misure.

Interpretazione dell'immagine

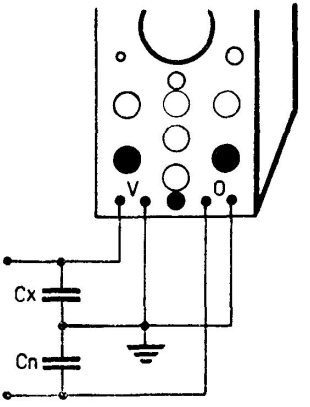
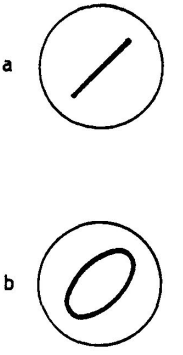
La traccia apparirà discontinua a tratti: la distanza fra un tratto e il successivo corrisponde a un preciso intervallo di tempo dato in secondi da $1/f$ se f indica la frequenza generata dall'oscillatore esterno.

Avvertenze

Se si dispone di un oscilloscopio a due tracce indipendenti può essere opportuno avere una seconda linea a tratti regolata con il medesimo circuito di soppressione, comandata alla medesima frequenza dell'asse dei tempi ma con moto continuo, in modo da avere una linea di riferimento permanente che facilita le misure specie se si tratta di transitori rapidi.

E' opportuno collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche verticali per evitare il formarsi di tensioni rispetto alle apparecchiature esterne.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURA DEL FATTORE DI POTENZA DI DIELETTRICI, CONDENSATORI, CAVI	Tavola **12**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.*

Durante la misura: Regolare i comandi di *Ampiezza* V e *Ampiezza* O.

Interpretazione dell'immagine

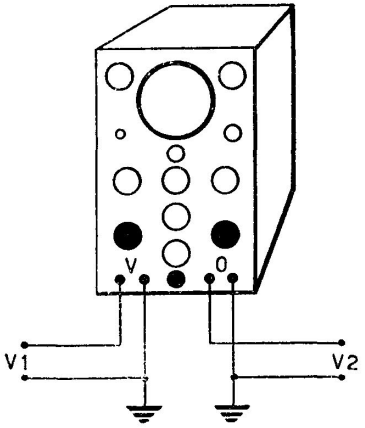
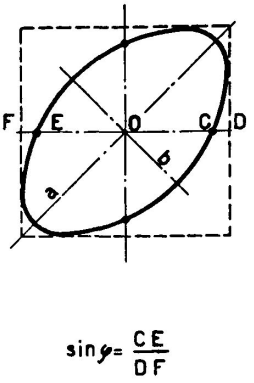
Retta: Se l'elemento in prova e il condensatare campione hanno le medesime perdite dielettriche sullo schermo comparirà una retta.

Ellisse: Se le perdite dielettriche (e quindi il fattore di potenza) sono differenti si avrà una ellisse la cui area è proporzionale allo sfasamento esistente. Per i valori riferirsi alla tav. 9 dove nella prima fila sono rappresentate le figure di Lissajous che si ottengono per frequenze uguali — come è in questo caso — e di sfasamenti differenti.

Avvertenze

E' opportuno collegare a una terra esterna i morsetti di massa delle placche verticali e orizzontali per evitare il formarsi di tensioni rispetto alle apparecchiature esterne.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURA DELLO SFASAMENTO FRA DUE TENSIONI	Tavola **13**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.*

Durante la misura: Regolare i comandi di *Ampiezza* V e *Ampiezza* O in modo che l'ellisse risulti inscritta all'incirca in un quadrato poichè in queste condizioni la misura dà la massima precisione (ciò significa che le tensioni applicate alle due coppie di placche devono essere all'incirca uguali e ciò deve essere tenuto presente in caso di collegamento diretto agli elettrodi).

Interpretazione dell'immagine

La misura è analoga a quella della tav. precedente e della tav. 9 relativa alle figure di Lissajous per frequenze uguali.

Il valore numerico dell'angolo si ricava dal rapporto:

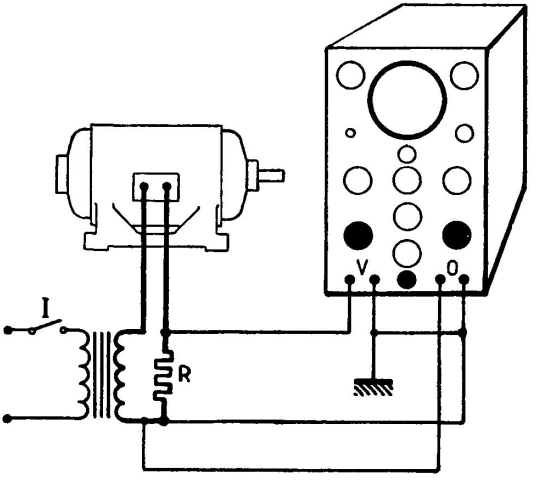
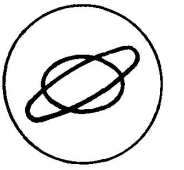
$$\sin \varphi = \frac{CE}{DF}$$

Si tenga presente che la massima precisione si ottiene quando l'ellisse si può inscrivere in un quadrato.

Avvertenze

E' opportuno collegare a una terra esterna i due morsetti di massa delle placche deviatrici verticali e orizzontali.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	FATTORE DI POTENZA DI UN MOTORE AI DIVERSI CARICHI	Tavola **14**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.* Inserire una resistenza di basso valore in serie sul circuito del motore.

Durante la misura: Poichè si tratta di una applicazione delle misure dello sfasamento fra due tensioni (tav. 13), vale ancora quanto detto in precedenza.

Interpretazione dell'immagine

Al variare del carico l'ellisse si deforma in accordo con il mutare del valore del cos φ esistente fra la tensione e la corrente del motore (portata all'oscilloscopio tramite la caduta di tensione sulla resistenza R). La determinazione numerica si effettua come indicato alla tav. 13.

Avvertenze

E' opportuno collegare a una terra esterna i due morsetti di massa delle placche deviatrici verticali e orizzontali.

Si faccia attenzione alla regolazione dell'amplificatore orizzontale, poichè la sua tensione d'entrata è generalmente inferiore a quella portata sulle placche verticali e deve essere amplificata per essere nelle condizioni migliori di misura.

CAPITOLO X

MISURE DI IMPEDENZA E DELLE CARATTERISTICHE MAGNETICHE DEI MATERIALI FERROSI

Anche per questo gruppo di misure i procedimenti sono spesso analoghi a quelli descritti nel capitolo precedente, potendosi in molti casi riportare a valutazioni di sfasamenti.

Misure di impedenza.

La misura di impedenze viene spesso effettuata con ponti in corrente alternata, per i quali è necessario uno strumento molto sensibile per effettuare l'azzeramento. Collegando un oscilloscopio sulla diagonale di misura del ponte (fig. 50) è possibile osservare la diminuzione dell'ampiezza del segnale man mano che si procede nella regolazione. La frequenza della base dei tempi è bene che sia bassa, in relazione con quella della tensione che alimenta il ponte, e la sensibilità dello strumento va aumentata man mano che ci si avvicina all'azzeramento (vedasi tav. 15, a pag. 85).

Un metodo più sensibile e che consente una regolazione più rapida si

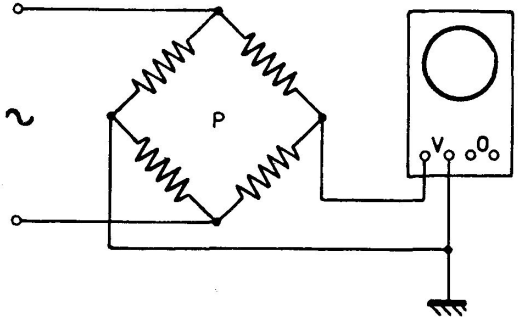


Fig. 50 - Impiego dell'oscilloscopio quale apparecchio di azzeramento in un ponte per la misura delle impedenze.

P - Ponte impedenze
V - Morsetti delle placche verticali

ha inviando alle placche di deviazione orizzontale la frequenza di alimentazione del ponte attraverso un circuito sfasatore (fig. 51) — in questo caso occorre anche un trasformatore d'accoppiamento perchè, essendo a massa uno dei nodi del ponte collegato alle placche di deviazione verticale, non poteva essere connesso a massa un altro punto — in modo da ottenere sullo schermo una figura di Lissaojus.

Quando il ponte è azzerato, sullo schermo dovrà comparire una retta orizzontale, mentre in altre condizioni si avrà una ellisse comunque inclinata: è facile vedere che l'inclinazione della figura è dovuta alla componente resistiva, mentre l'apertura dell'ellisse è controllata dalla sola componente reattiva. In tal modo è possibile avere una esatta indicazione della variazione da effettuare, operando separatamente sui due elementi di azzeramento.

Naturalmente perchè questa separazione fra componente resistiva e reattiva sia esatta occorre che il circuito sfasatore dia in uscita una ten-

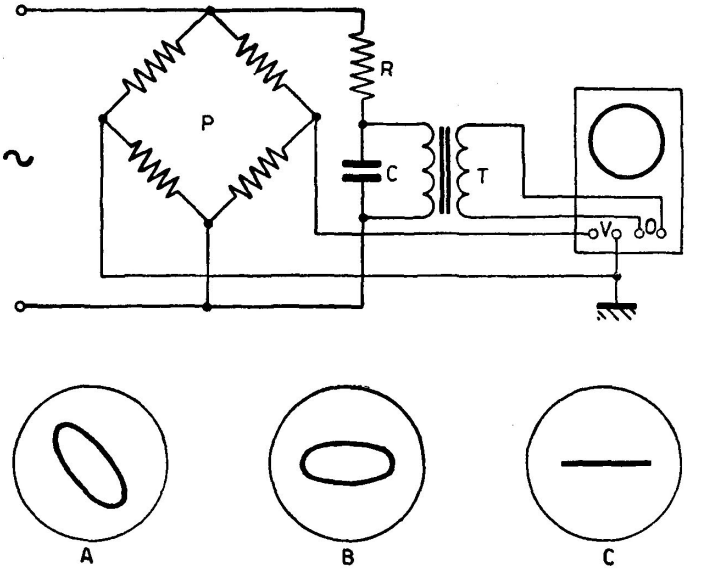


Fig. 51 - Circuito impiegato per l'azzeramento di un ponte per la misura delle impedenze, con alimentazione del ponte attraverso un circuito sfasatore. Le tre immagini riportate sotto lo schema indicano le varie fasi attraverso le quali si giunge all'azzeramento (linea orizzontale).

A - Ponte squilibrato
B - Ponte tendente all'equilibrio
C - Ponte in equilibrio
P - Ponte impedenze
R - Resistenza di compensazione
C - Condensatore di accoppiamento
T - Trasformatore di accoppiamento
V - Morsetti placche verticali
O - Morsetti placche orizzontali

sione quasi in quadratura rispetto a quella in entrata e ciò si può ottenere regolando la resistenza variabile inserita nel circuito stesso.

Per la misura del fattore di potenza di un dielettrico, di un condensatore o di un cavo si può ricorrere al sistema, poichè esso viene fatto per confronto con un campione il cui fattore di potenza è conosciuto: se essi sono di uguali caratteristiche, sullo schermo si otterrà una retta, mentre l'ellisse sarà tanto più ampio quanto meno efficiente sarà il materiale in esame.

Caratteristiche magnetiche dei materiali ferrosi.

Il rilievo del ciclo di isteresi di un materiale magnetico o la determinazione della caratteristica di un trasformatore (nel primo caso si ha un trasformatore i cui due avvolgimenti sono effettuati su un anello chiuso del materiale in esame) si effettua portando sulle placche deflettrici verticali una tensione proporzionale alle amperspire primarie, ottenuta su di una resistenza in serie (fig. 52), e su quelle orizzontali la tensione secondaria, chiusa su un circuito *R-C*, che si ha agli estremi del condensatore.

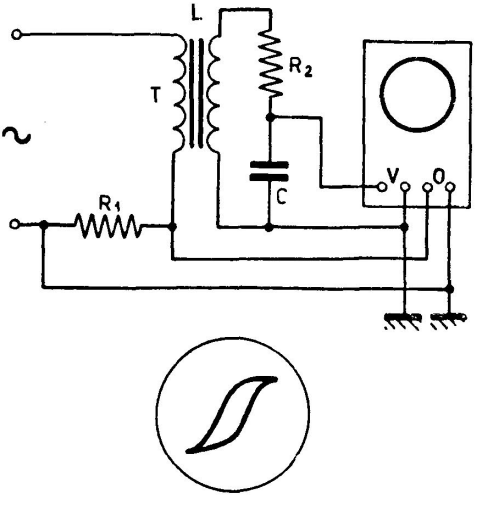
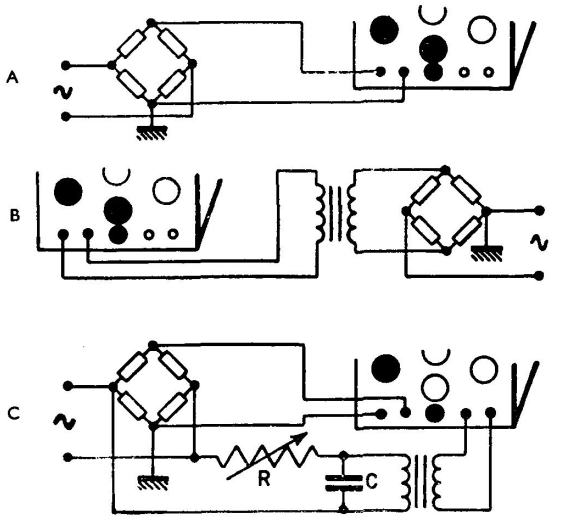
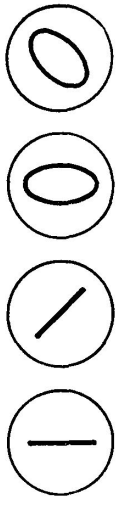


Fig. 52 - Circuito adottato per il rilievo del ciclo di isteresi di un lamierino magnetico.
L – Lamierino in prova
T – Avvolgimenti
R_1 – Resistenza per ridurre la tensione primaria
R_2 – Resistenza secondaria
C – Condensatore di accoppiamento
V – Morsetti placche verticali
O – Morsetti placche orizzontali

Con breve calcolo matematico si vede che, se la tensione ai capi del condensatore è piccola rispetto a quella totale secondaria perchè la resistenza in serie è molto elevata, essa è proporzionale all'induzione che si ha nel circuito magnetico. Poichè la corrente primaria corrisponde (a parte il fattore costante dato dal numero di spire) alle amperspire del circuito magnetico, la figura che si ottiene sullo schermo corrisponde appunto al ciclo d'isteresi del materiale in esame o del trasformatore (vedasi tav. 16 a pag. 86).

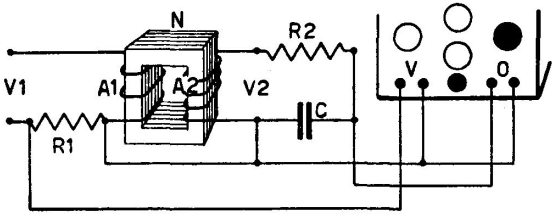
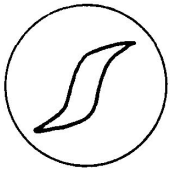
Dato che si deve impiegare nel circuito di deflessione orizzontale un elevato fattore di amplificazione avendosi una tensione molto bassa, occorre assicurarsi che non vi sia distorsione, in caso contrario conviene alimentare ad una frequenza più elevata di quella industriale (ad esempio 500 ÷ 600 Hz).

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	IMPIEGO DELL'OSCILLOSOPIO QUALE RIVELATORE NEI PONTI IN C.A.	Tavola **15**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

	Schema A	Schema C
Disposizione dei comandi	**Prima della misura:** Portare il commutatore asse dei tempi su *Int* e regolare la frequenza su un valore inferiore alla frequenza di alimentazione del ponte. *Amplificatore V* al minimo. **Durante la misura:** Aumentare l'*amplificazione V* man mano che ci si avvicina all'azzeramento.	**Prima della misura:** Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.* Sulle placche orizzontali deve giungere la tensione di alimentazione del ponte sfasata. Amplificatori *V* e *O* al minimo. **Durante la misura:** Aumentare l'amplificazione *V* e *O* man mano che ci si avvicina all'azzeramento.
Interpretazione dell'immagine	La tensione sulla diagonale del ponte dà luogo a un segnale alternato la cui altezza deve diminuire durante l'azzeramento. Quando il segnale è minimo, lo si amplifica in modo da accrescere la sensibilità sulla diagonale.	Sullo schermo compare una ellisse inclinata (figura di Lissajous per frequenze uguali). L'equilibrio del ponte si ha quando si ottiene una retta orizzontale. **Regolazione elemento resistivo del ponte:** E' completa quando l'ellisse ha l'asse maggiore orizzontale. **Regolazione elemento reattivo:** E' completa quando l'ellisse si riduce a una retta.
Avvertenze	Nel caso in cui non sia a terra nessuno dei due nodi del ponte collegati all'oscilloscopio (schema *B*), occorre interporre fra questo e il ponte un trasformatore.	Aumentando l'*ampiezza* V mentre si procede all'azzeramento è possibile ottenere una maggior precisione nella misura.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	RILEVAMENTO DEL CICLO DI ISTERESI DI UN MATERIALE MAGNETICO	Tavola **16**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
A_1 - Avvolgimento primario A_2 - Avvolgimento secondario N - Nucleo formato dai lamierini in prova R_1 - Resistenza sul primario (~ 200 ohm) R_2 - Resistenza sul secondario (~ 30 000 ohm) C - Condensatore (~ 1 μF) f - Frequenza di alimentazione (~ 500 Hz) V_1 - Tensione primaria (~ 10 volt) V_2 - Tensione secondaria (~ 50 volt) 	

Disposizione dei comandi

Prima della prova: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.* Per evitare distorsioni di fase è opportuno alimentare il sistema con una tensione alla frequenza di circa 500 Hz.

Durante la prova: Regolare l'*Ampiezza* V e l'*Ampiezza* O.

Interpretazione dell'immagine

Forza magnetomotrice: La corrente rilevata dalle placche orizzontali è proporzionale alle amperspire della f.m.m.

Induzione: Se la caduta di tensione su C è piccola rispetto a f.e.m. totale secondaria V_2, essa è proporzionale all'induzione B nel lamierino. Perciò la figura corrisponde al ciclo di isteresi del materiale impiegato per il lamierino.

Avvertenze

La validità delle formule si basa sul fatto che la caduta di tensione su C sia bassa (in modo tale da poter scrivere $V_2 = R_2 I$ senza apprezzabile errore). Per questo occorre che l'*Ampiezza* O sia tenuta ad un valore molto elevato per ottenere una figura proporzionata.

CAPITOLO XI

MISURE DI ELETTRONICA E RADIOTECNICA

Anche nel campo dell'elettronica l'oscilloscopio può servire per una vasta gamma di misure peculiari di questo settore, oltre a rilevazioni di tensione, corrente, paragoni di frequenza o di fase ecc. che trovano impiego in ogni settore dell'elettrotecnica.

Data la vastità della materia non è qui possibile dare un quadro completo e ci limiteremo solo ad alcune tecniche fra le più note a puro titolo esemplificativo.

Rilievo delle curve di risonanza.

L'oscilloscopio permette di rilevare la curva di risonanza di circuiti sintonizzati, amplificatori e radioricevitori dando la possibilità di vedere il valore della tensione in uscita per tutta la gamma di frequenza che interessa.

La prova si effettua collegando in entrata al circuito in esame un generatore di segnale a frequenza variabile e di intensità costante (a modulazione di frequenza). Per ottenere un oscillogramma della caratteristica di frequenza occorre che la deviazione orizzontale avvenga in sincronismo con la variazione di frequenza del generatore provocata, come è noto, da una tensione a dente di sega. Questa tensione, prelevata dal generatore dell'asse dei tempi dell'oscillografo, viene applicata a un circuito elettronico che converte la variazione di tensione in una variazione proporzionale di sintonia del generatore (fig. 53 *a*).

La curva che si ottiene è del tipo di quella rappresentata in figura 53 *b*.

Un procedimento analogo si può applicare anche ai filtri per l'intervallo di frequenza intorno ai punti singolari (passaggio dalla zona opaca a quella trasparente e viceversa) per rilevare il rapporto fra i due segnali.

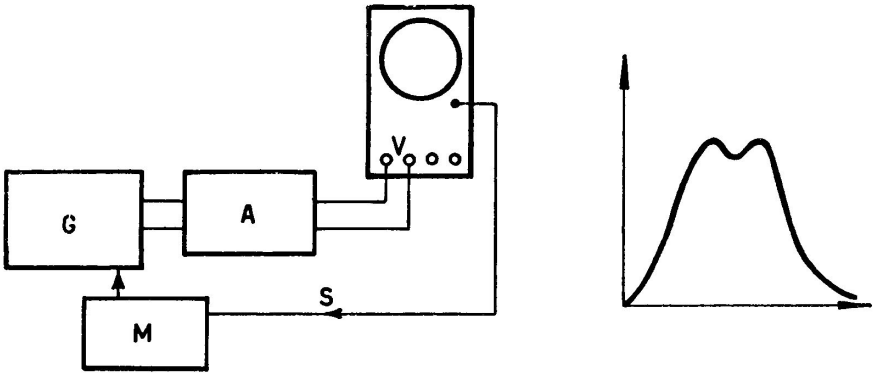


Fig. 53 - Rilievo della curva di risonanza di amplificatori e di radioricevitori.

G – Generatore di segnali
A – Amplificatore in esame
M – Modulatore di frequenze
S – Segnale a dente di sega prelevato dall'oscilloscopio

Misure sugli amplificatori.

La prova della fedeltà di un amplificatore di bassa frequenza viene effettuata collegando un oscillatore di bassa frequenza all'entrata dello stadio in esame che in uscita va alle placche di deflessione verticale. Per avere un confronto diretto è bene poter vedere contemporaneamente sullo schermo il segnale in entrata e quello in uscita, sia facendo uso di un oscilloscopio a doppia traccia sia ricorrendo ad un commutatore elettronico (fig. 54). In tal caso si tenga presente che il segnale in uscita avrà una

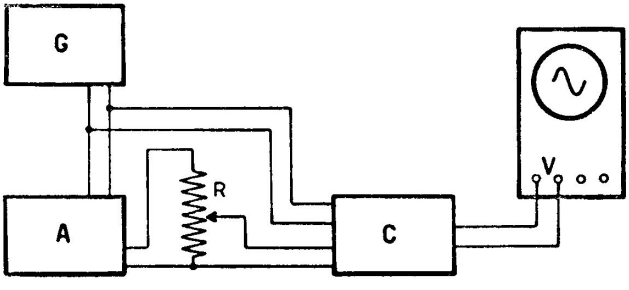


Fig. 54 - Rilievo della curva di fedeltà di un amplificatore.

A – Amplificatore in esame
G – Generatore di segnali
C – Commutatore elettronico
R – Reostato di regolazione

ampiezza molto maggiore di quello in entrata per cui sarà bene impiegare un partitore resistivo di tensione in uscita per ottenere due tracce all'incirca della medesima ampiezza.

Il generatore dell'asse dei tempi deve essere naturamlmente regolato ad una frequenza uguale, doppia o tripla di quella prodotta dal generatore per poter vedere sullo schermo uno od alcuni cicli della tensione.

Per le misure di ronzio si elimina il generatore in entrata dal circuito in esame e si pilota l'asse dei tempi con una frequenza molto bassa, eventualmente quella di rete. Il morsetto verticale a massa si porta sul telaio dell'amplificatore mentre quello isolato si collega di volta in volta ai punti da esaminare: l'ampiezza del segnale registrato corrisponde al ronzio esistente. Esaminando i mutamenti della traccia quando variano alcuni parametri del circuito si può studiare direttamente la miglior condizione di funzionamento.

Il procedimento di misura è rassunto nella tavola 17, a pag. 92.

Allineamento dei radioricevitori.

L'allineamento di un radioricevitore si effettua applicando un segnale modulato ad una frequenza di circa 400 Hz in entrata (fra antenna e terra) e applicando i morsetti dell'oscilloscopio in uscita sullo stadio finale del ricevitore (fig. 55).

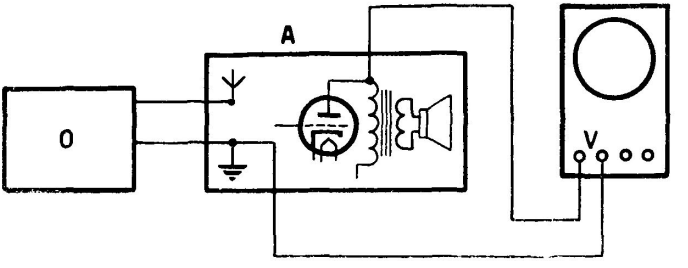


Fig. 55 - Circuito per l'allineamento di un radioricevitore, applicando un sengale modulato ad una frequenza di circa 400 Hz in entrata.

A – Apparecchio in esame
O – Oscillatore modulato

Se il *generatore* impiegato è del tipo *modulato in ampiezza*, sull'oscilloscopio si otterrà una traccia corrispondente a tale modulazione, purchè l'asse dei tempi sia regolato su una frequenza dello stesso ordine che permetta di porre in evidenza due o tre cicli della modulazione.

L'allineamento si effettua osservando quando il segnale raggiunge la sua massima intensità mentre si agisce sui parametri del circuito da regolare.

Con questa disposizione è possibile effettuare anche un controllo della

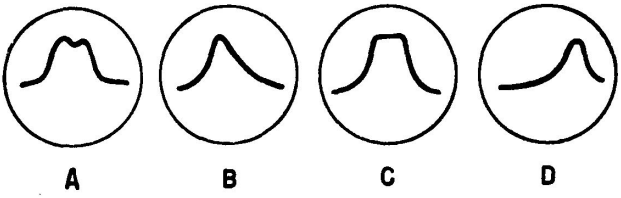


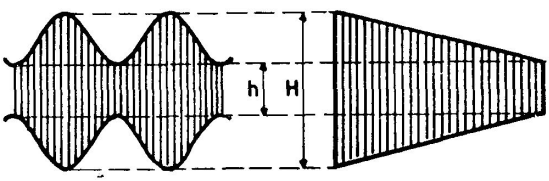
Fig. 56 - Alcune figure tipiche per i diversi segnali in uscita dei radioricevitori.
A - Buono
B - Dissimmetria bande laterali
C - Sovraccarico o occessiva selettività
D - Circuito fuori sintonia

fedeltà del ricevitore, in modo analogo a quanto è stato precedentemente descritto per un amplificatore, solo che in questo caso il segnale applicato in entrata ad una traccia dell'oscilloscopio è in alta frequenza modulato anzichè essere in bassa frequenza.

Più spesso l'allineamento viene effettuato impiegando dei *generatori a modulazione di frequenza* con i quali si ottiene sullo schermo la curva di risonanza come è stato descritto in un paragrafo precedente. La figura 56 mostra alcune di queste figure tipiche per diversi tipi di segnali in uscita dal radioricevitore.

Misure di modulazione sui radiotrasmettitori.

Per misurare la percentuale di modulazione nei radiotrasmettitori si collegano direttamente senza l'amplificatore le placche di deviazione verticale dell'oscilloscopio a una bobinetta accoppiata alla bobina di antenna (data la presenza di frequenze molto elevate è necessario che la linea sia quanto più corta è possibile e formata da conduttori attorcigliati a spirale).



$$m = \frac{H-h}{H+h} 100\%$$

Fig. 57 - Figura caratteristica rappresentante la portante modulata, denominata pure « oscillogramma ad inviluppo d'onda ».
H - Ampiezza massima di modulazione
h - Ampiezza minima di modulazione
m - Profondità di modulazione

Se la deviazione orizzontale è pilotata dall'asse dei tempi (ad una frequenza dell'ordine di quella di modulazione), si ottiene un oscillogramma *a inviluppo d'onda*, che rappresenta fedelmente la portante modulata: la profondità di modulazione si può conoscere dalla formula seguente (in valore percentuale):

$$\frac{H - h}{H + h} 100\%$$

dove H e h rappresentano (fig. 57) le larghezze massime e minime di ampiezza della modulazione. Questo sistema permette subito di rilevare ogni caratteristica dell'onda modulata nei suoi particolari, ma non sempre si presta bene a questo calcolo, specie se l'onda modulante è di forma irregolare (come quella che si ottiene direttamente da un microfono), per cui è difficile una esatta valutazione di H e h.

In questo caso è più agevole ricorrere al metodo delle *figure trapezoidali*, il quale differisce dal precedente perchè le placche orizzontali vengono in questo caso collegate al segnale modulante. Si ottengono così delle figure geometriche che non variano con le caratteristiche della modulazione, ma solo al variare della profondità di modulazione, per cui il rilievo di H e h è più semplice (fig. 58).

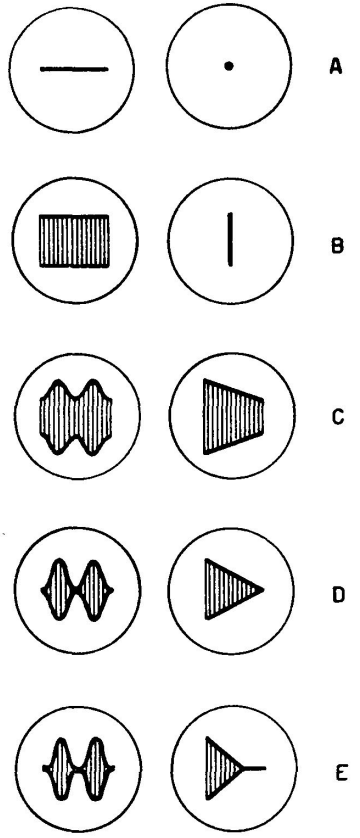
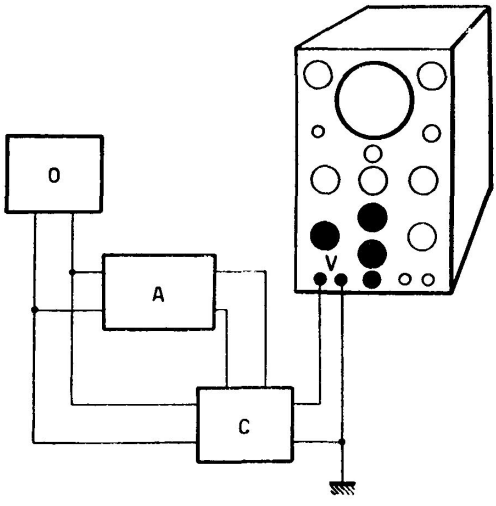
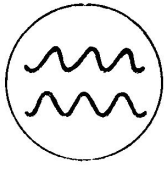


Fig. 58 - Figure geometriche che appaiono sullo schermo dell'oscilloscopio.

A - Mancanza di segnale
B - Portante non modulata
C - Portante modulata al 33%
D - Portante modulata al 100%
E - Portante modulata ad oltre il 100%

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DETERMINAZIONE DELLA FEDELTA' DI UN AMPLIFICATORE	Tavola **17**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Regolare la frequenza su un valore corrispondente a quello generato dall'oscillatore.

Durante la misura: Regolare la frequenza fino ad ottenere immagini stabili sullo schermo. Regolare l'*Ampiezza* V in modo da ottenere una traccia tutta visibile, tenendo presente che il segnale in uscita dall'amplificatore è molto più ampio di quello in entrata.

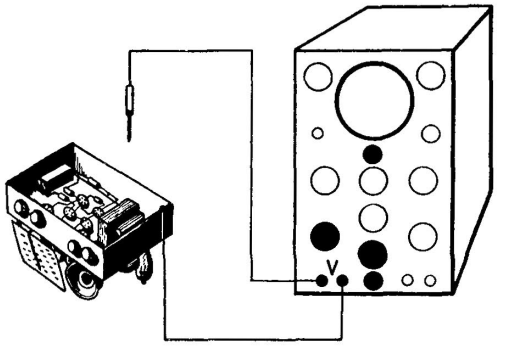
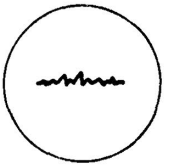
Interpretazione dell'immagine

Se l'oscilloscopio è a doppia traccia o si dispone di un commutatore elettronico, sullo schermo compare il segnale sinusoidale emesso dall'oscillatore contemporaneamente a quello amplificato dall'apparecchio in esame. Ciò consente il confronto diretto e permette di rilevare le eventuali deficienze dell'amplificatore.

Avvertenze

Se la tensione in uscita dall'amplificatore è talmente elevata da non poter comparire sullo schermo nella stessa scala di quella in entrata, è opportuno introdurre un partitore di tensione a meno che il commutatore elettronico o l'oscilloscopio a doppia traccia non dispongano di due amplificatori separati.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI RONZIO	Tavola **18**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.*

Regolare la frequenza su un valore basso (20 ÷ 50 Hz). Portare il commutatore di sincronismo su *rete.*

Portare il comando *Ampiezza* V al massimo.

Durante la misura: Appoggiare il puntale collegato al morsetto *V* isolato ai punti nei quali si vuole conoscere l'entità del ronzio, dopo avere acceso l'apparecchio in prova senza inviare segnale in entrata.

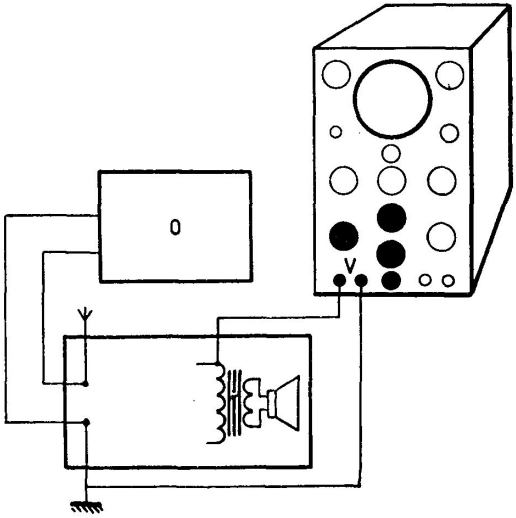
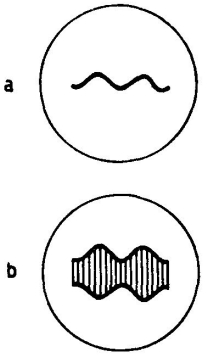
Interpretazione dell'immagine

Sullo schermo apparirà una linea frastagliata di altezza variabile rispetto alla linea di riposo: essa dà una idea della entità del ronzio nel punto esaminato.

Avvertenze

Fare attenzione ad evitare l'influenza di conduttori che portano corrente a frequenza industriale e possono indurre tensioni sul puntale falsando le misure, dato che si tratta di ricercare segnali molto deboli per i quali occorre tenere l'amplificatore al massimo.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	ALLINEAMENTO RADIORICEVITORI CON OSCILLATORI MODULATI IN AMPIEZZA	Tavola **19**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
 L'oscillatore genera un segnale in alta frequenza modulato in ampiezza da un altro segnale avente frequenza di circa 400 Hz.	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Regolare la frequenza su circa 1000 Hz (frequenza doppia o tripla di quella emessa dall'oscillatore).

Durante la misura: Ridurre l'ampiezza verticale man mano che il segnale in uscita aumenta, in modo da poter sempre controllare la posizione di massima tensione in uscita.

Interpretazione dell'immagine

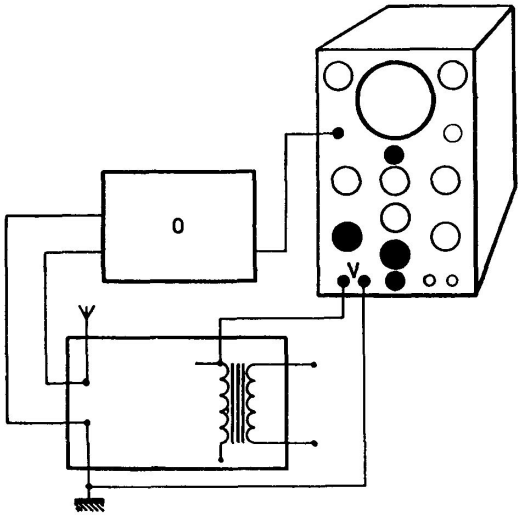
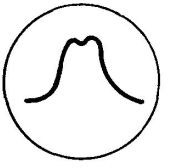
Sullo schermo compare un segnale sinusoidale di frequenza uguale a quella di modulazione dell'oscillatore. Durante l'allineamento del radioricevitore il segnale aumenterà di intensità se le regolazioni saranno state effettuate nel senso giusto.

Avvertenze

E' opportuno collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche deviatrici verticali per evitare il formarsi di tensioni elevate rispetto alle apparecchiature esterne.

Se il collegamento viene effettuato sullo stadio M.F. sullo schermo appare la traccia dello schema *b*.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	ALLINEAMENTO RADIORICEVITORI CON OSCILLATORI A MODULAZIONE DI FREQUENZA	Tavola **20**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
 L'oscillatore genera un segnale A. F. modulato in frequenza di circa ± 10 kHz, avente circa 100 variazioni al secondo (cioè con frequenza di modulazione di 100 Hz).	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Regolare la frequenza allo stesso valore della frequenza di modulazione (circa 100 Hz).
Portare il commutatore di sincronismo su *Est* e collegare il relativo morsetto al terminale dell'oscillatore predisposto per fornire il segnale di sincronismo.

Durante la misura: Regolare il comando *Ampiezza* V.

Interpretazione dell'immagine

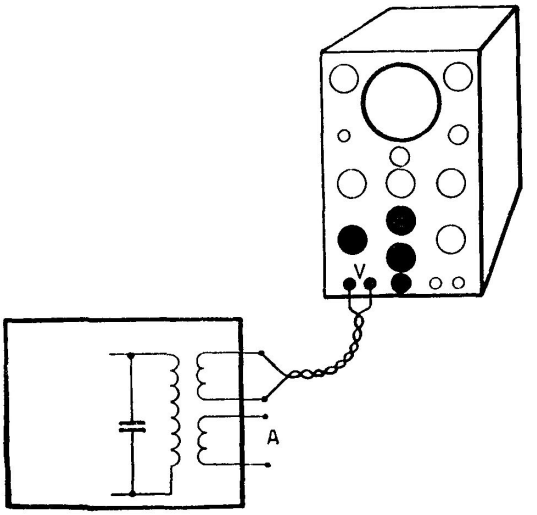
Al variare della frequenza generata dall'oscillatore varia il grado di sintonia dell'apparecchio, per cui mutano in corrispondenza le tensioni registrate in uscita. Se la variazione di frequenza è in sintonia con l'asse dei tempi (tramite il collegamento di sincronizzazione) sullo schermo appare una curva corrispondente a quella di risonanza o di selettività dell'apparecchio.

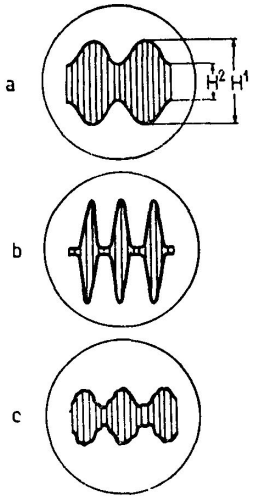
Avvertenze

E' opportuno collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche deviatrici verticali per evitare il formarsi di tensioni rispetto alle apparecchiature esterne.
Durante le misure è opportuno eliminare il controllo automatico di volume fra stadio e stadio.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	MISURE DI MODULAZIONE NEI TRASMETTITORI METODO DELL'INVILUPPO	Tavola **21**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo





Disposizione dei comandi

Prima della misuaa: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Regolare la frequenza su un valore corrispondente alla frequenza della modulante.

Durante la misura: Regolare il comando *Ampiezza* V.

Interpretazione dell'immagine

Il segnale raccolto dalla bobinetta disposta vicino al trasformatore di uscita porta sullo schermo l'alta frequenza modulata in ampiezza; si possono rilevare le caratteristiche della modulazione e il suo valore percentuale.

La percentuale di modulazione è data (figura *a*) da:

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2} \, 100\%$$

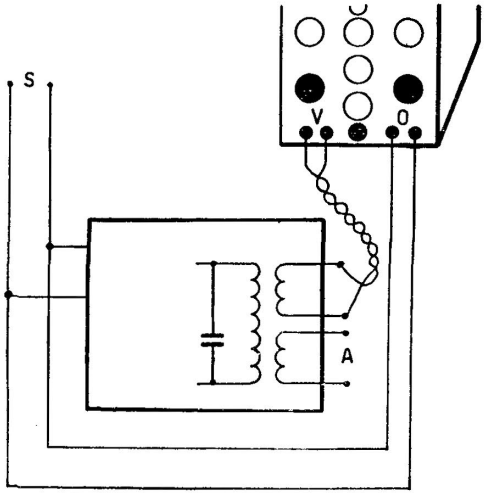
Avvertenze

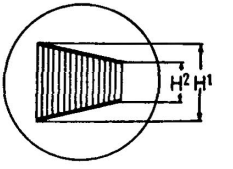
Si faccia attenzione a spiralare accuratamente i fili di collegamento all'oscilloscopio per evitare deformazioni dovute alla presenza di alte frequenze.

Se la portante ha una frequenza dell'ordine del MHz è opportuno collegarsi direttamente alle placche saltando l'amplificatore verticale. In questo caso è necessario ricorrere alla sincronizzazione esterna del segnale.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	**MISURE DI MODULAZIONE NEI TRASMETTITORI METODO FIGURE TRAPEZOIDALI**	Tavola **22**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo





Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Est.* Collegare ai morsetti di deflessione orizzontale il segnale modulato inviato al trasmettitore.

Durante la misura: Regolare i comandi *Ampiezza* V e *Ampiezza* O.

Interpretazione dell'immagine

Il segnale inviato alle placche verticali è uguale a quello che si aveva nel caso precedente, mentre alle placche orizzontali giunge il segnale modulato. La figura che ne risulta è un trapezio o un triangolo del quale si ricava la modulazione percentuale data da:

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2} \, 100\%$$

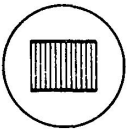
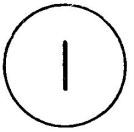
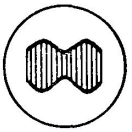
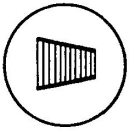
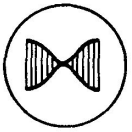
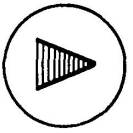
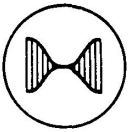
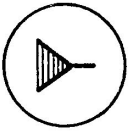
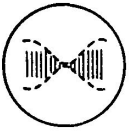
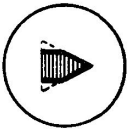
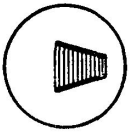
Avvertenze

Si faccia attenzione a spiralare accuratamente i fili di collegamento ai morsetti di deviazione verticale per evitare deformazioni dovute alla presenza di alte frequenze.

Se la portante ha una frequenza dell'ordine del MHz è opportuno collegarsi direttamente alle placche verticali saltando il relativo amplificatore.

Questo metodo permette una misura più esatta della percentuale di modulazione ma in compenso non visualizza l'andamento della tensione modulata e non consente di mettere in evidenza eventuali distorsioni dovute al trasmettitore.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	IMMAGINI SULLO SCHERMO NELLE MISURE DI MODULAZIONE DEI TRASMETTITORI	Tavola **23**

Immagine sullo schermo		Interpretazione
metodo dell'inviluppo	metodo delle figure trapez.	
		E' presente solo il segnale a radiofrequenza e non si ha traccia di modulazione.
		Modulazione lineare di intensità inferiore 100%.
		Modulazione lineare di intensità pari al 100%.
		Sovramodulazione della portante, che per un certo intervallo del ciclo di modulazione è ridotta a tensione nulla (coda del triangolo).
		Insufficiente eccitazione del segnale a radiofrequenza di griglia, che dà luogo all'eliminazione dei picchi di modulazione a frequenza fonica.
		Tensione di modulazione a frequenza fonica asimmetrica che provoca uno spostamento orizzontale della figura trapezoidale sullo schermo. Nel caso di figura i picchi positivi sono inferiori di quelli negativi (si osservi che col metodo dell'inviluppo l'asimmetria non si può riscontrare).

CAPITOLO XII

TARATURA E CONTROLLO DEI RICEVITORI TELEVISIVI

Per la taratura e il controllo di ricevitori televisivi l'oscilloscopio a raggi catodici offre notevoli possibilità; infatti, con l'ausilio di detto strumento la procedura viene resa molto semplice.

Altri strumenti sono però necessari e ne vediamo brevemente le caratteristiche principali:

1°) *Generatore di segnali modulati in frequenza* (*sweep generator*).

Consiste di un oscillatore che copre la gamma di frequenze dei canali televisivi e della media frequenza dei vari tipi di televisori (generalmente da 0 a 30 MHz in varie gamme). Tale oscillatore ha la possibilità di variare la frequenza di uscita di pochi MHz (10 ÷ 30) in modo periodico (generalmente a 50 Hz) all'intorno della frequenza fondamentale di lavoro che viene letta sulla scala dello strumento. Un requisito fondamentale di tale strumento è la costanza dell'ampiezza del segnale di uscita entro tutta la gamma di modulazione in frequenza.

2°) *Generatore campione* (*marker-generator*).

E' costituito da un oscillatore molto stabile in frequenza e dove è possibile leggere con grande precisione il valore della frequenza di lavoro.

Si può ora suddividere il procedimento di taratura e controllo di un televisore in vari blocchi, così come è rappresentato nella figura 59.

Taratura del gruppo alta frequenza.

Si applica un segnale modulato in frequenza direttamente ai morsetti di antenna del televisore e ci si collega dopo l'amplificatore passa banda

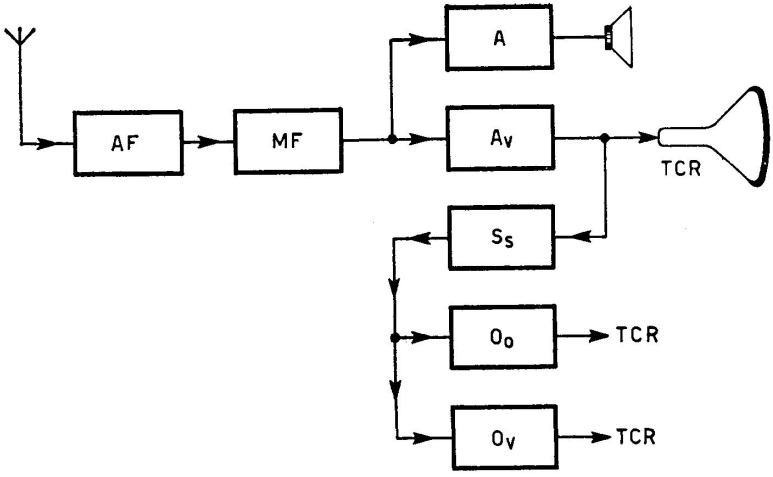


Fig. 59 - Schema a blocchi dei circuiti fondamentali costituenti un ricevitore televisivo.

AF – Gruppo di alta frequenza
MF – Gruppo di media frequenza
A – Gruppo audio
Av – Amplificatore video
Ss – Separatore sincronismi
Oo – Oscillatore orizzontale
Ov – Oscillatore verticale
TRC – Tubo a raggi catodici

all'ingresso dell'amplificatore verticale dell'oscilloscopio come indicato in figura 60. L'amplificatore orizzontale dell'oscilloscopio è collegato con l'apposita uscita del generatore sweep.

Si porta successivamente il gruppo alta frequenza del televisore sul

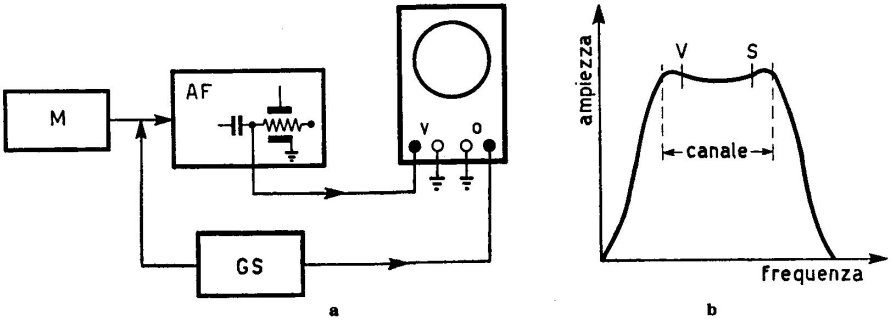


Fig. 60 - Schema di principio per la taratura del gruppo alta frequenza (a) ed immagine che appare sullo schermo dell'oscilloscopio (b).

M – Marker
AF – Gruppo alta frequenza
GS – Generatore sweep
V – Morsetti placche verticali
O – Morsetti placche orizzontali

primo canale da tarare e si regola la frequenza del *generatore sweep* al valore corrispondente.

Si possono ora regolare i nuclei delle varie bobine e i trimmer per ottenere la curva di risposta esatta sul tubo a raggi catodici dell'oscilloscopio. Per controllare i punti corrispondenti alle varie frequenze si applica il segnale del *marker generator*, sempre ai morsetti di antenna del televisore, e sul tubo a raggi catodici dell'oscilloscopio comparirà un guizzo sulla curva di risposta del gruppo A.F.

Con lo stesso procedimento si possono ora tarare tutti i canali di ricezione. Durante la procedura di taratura è opportuno escludere il funzionamento dell'oscillatore locale per evitare interferenze. Il procedimento è riassunto nella tavola 24 (a pag. 105).

Taratura dell'amplificatore di media frequenza.

Per la taratura dell'amplificatore di media frequenza si applica il generatore sweep al circuito mediante una capacità di accoppiamento. L'entrata verticale dell'oscilloscopio è sulla resistenza di carico del diodo demodulatore. Lo schema a blocchi dei collegamenti è indicato nella figura 61.

L'uso del marker permetterà di effettuare una perfetta taratura dell'amplificatore di media frequenza.

Terminata la taratura della catena di media frequenza si potrà controllare la risposta totale del gruppo alta frequenza e della sezione a media

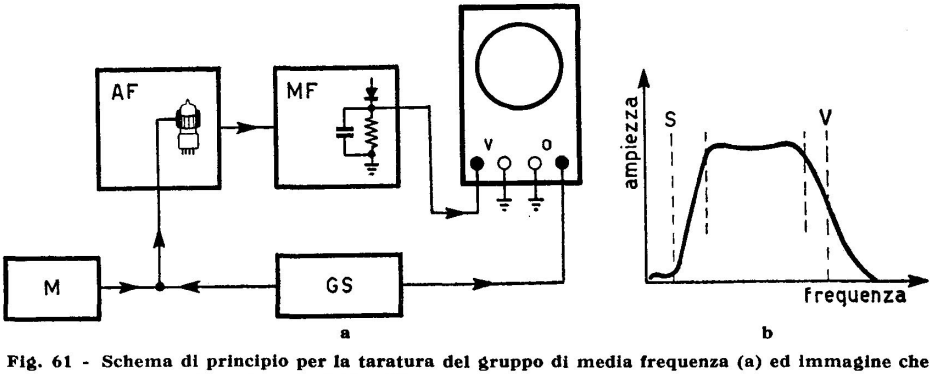


Fig. 61 - Schema di principio per la taratura del gruppo di media frequenza (a) ed immagine che appare sullo schermo dell'oscilloscopio (b).
M – Marker
AF – Gruppo di alta frequenza (il segnale viene applicato alla valvola miscelatrice tramite una fascetta metallica)
GS – Generatore sweep
MF – Amplificatore media frequenza
V – Morsetti placche verticali
O – Morsetti placche orizzontali

frequenza applicando il *generatore sweep* e il *marker* ai morsetti di antenna del televisore. L'oscilloscopio è sempre collegato ai capi della resistenza di carico del diodo demodulatore. La tavola 25 (a pag. 106) riassume la procedura di taratura della media frequenza di un televisore.

Sezione audio.

Lo standard televisivo italiano utilizza per la sezione audio il sistema « intercarrier ». L'oscilloscopio permette di controllare il limitatore di ampiezza e di tarare il discriminatore. Applicando l'uscita dello stadio limitatore all'oscilloscopio si può controllare il perfetto funzionamento di tale stadio osservando che l'ampiezza non subisca variazioni al variare dall'ampiezza del segnale all'ingresso.

La taratura del discriminatore si effettua applicando un segnale a 5,5 MHz modulato in frequenza all'ingresso della sezione audio e collegando l'oscilloscopio all'uscita del discriminatore. Sullo schermo dell'oscilloscopio si dovrà ottenere la curva caratteristica del discriminatore come indicato nella figura 62.

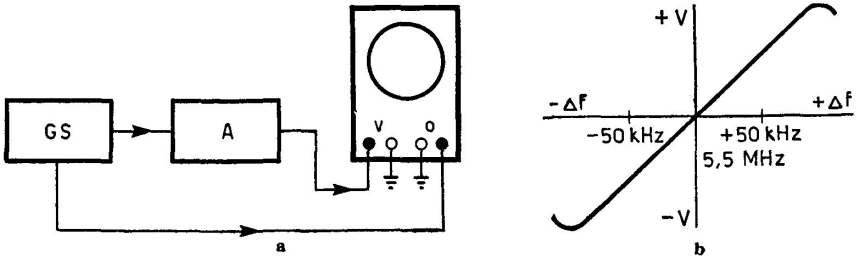


Fig. 62 - Schema di principio per la taratura del discriminatore (a) ed immagine che appare sullo schermo dell'oscilloscopio (b).

GS – Generatore sweep
A – Sezione audio
V – Morsetti placche verticali
O – Morsetti placche orizzontali

Il riassunto di tale procedura è sulla tavola 26 (a pag. 107).

Il funzionamento generale delle altre sezioni di un televisore è possibile conoscerlo rilevando con l'oscilloscopio le forme d'onda nei vari punti di prova delle varie sezioni.

Fig. 63 - Se l'immagine sullo schermo del televisore è normale, all'ingresso dell'amplificatore video si avrà l'oscillogramma indicato in figura.

Amplificatore video.

Con immagine normale sullo schermo del televisore, all'ingresso dell'amplificatore video si avrà un oscillogramma analogo a quello di figura 63, mentre all'uscita dell'am-

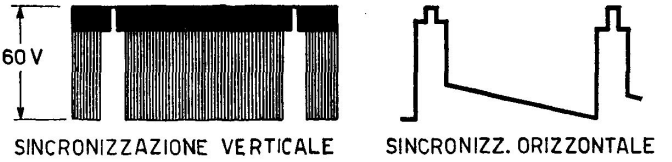


Fig. 64 - Oscillogramma analogo a quello della fig. 63, ma riferito al segnale prelevato all'uscita dell'amplificatore video.

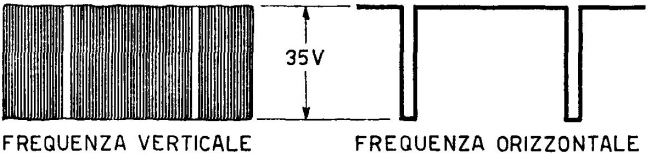


Fig. 65 - Oscillogramma relativo ai soli impulsi di sincronismo.

plificatore si otterrà un segnale come in figura 64. Se questi segnali sono regolari avremo stabilito, in linea generale, che il funzionamento dell'amplificatore video è normale.

Un controllo particolare dell'amplificatore video in tutte le sue caratteristiche è molto più laborioso.

Fig. 66 - Segnali di sincronismo di riga.

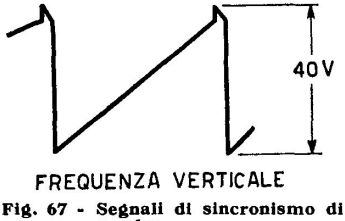


Fig. 67 - Segnali di sincronismo di quadro.

Separatore sincronismi.

Il segnale video completo è applicato alla sezione separatore sincronismi e in uscita avremo i segnali di sincronismo di riga e di quadro. Alla entrata del separatore sincronismo troveremo sempre il segnale video composito come in figura 64, all'uscita troveremo che il segnale video è stato eliminato e ci saranno i soli impulsi di sincronismo (fig. 65). Dopo le reti di differenziazione e integrazione avremo rispettivamente segnali di sincronismo di riga e segnali di sincronismo di quadro (figg. 66-67).

Oscillatore orizzontale

All'entrata dell'oscillatore orizzontale troveremo impulsi di sincronismo come nella figura 66 e all'uscita troveremo un impulso come nella figura 68.

Fig. 68 - Oscillogramma relativo agli impulsi di sincronismo prelevati sulla finale di riga.

Tutte le altre forme d'onda di tale sezione sono diverse a seconda dei vari circuiti impiegati per l'oscillatore e il C.A.F.

Oscillatore verticale.

Analogamente alla sezione orizzontale troveremo all'entrata i segnali di sincronismo (fig. 67). Sul trasformatore di uscita ci sarà un impulso come nella figura 69. Le altre forme d'onda variano con i vari tipi di circuito usato.

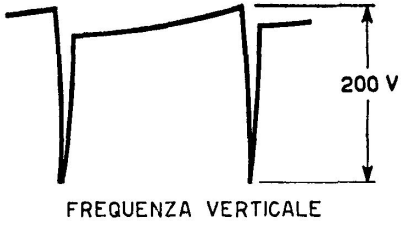
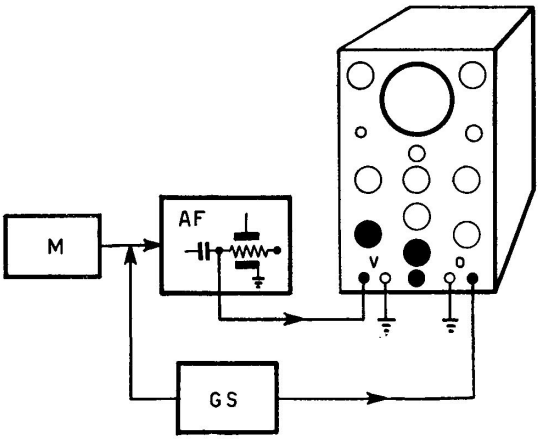


Fig. 69 - Oscillogaamma relativo agli impulsi prelevati sul trasformatore di uscita.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	TARATURA GRUPPO ALTA FREQUENZA DI UN RICEVITORE TELEVISIVO	Tavola **24**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse tempi su esterno.

Durante la misura: Regolare i comandi di ampiezza verticale e orizzontale.

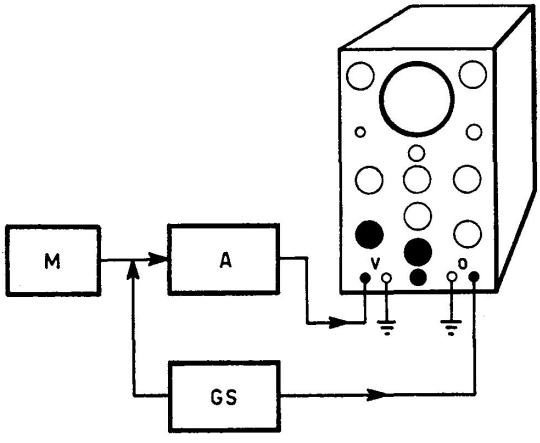
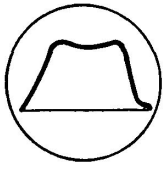
Interpretazione dell'immagine

Sullo schermo compare una curva che indica la tensione che è presente, dopo l'amplificatore passa banda del gruppo alta frequenza per i vari valori di frequenza. Con le varie regolazioni si porta tale forma d'onda nel giusto valore di frequenza e forma. Il guizzetto sovrapposto a tale curva è provocato dal generatore marker.

Avvertenze

Il segnale in uscita dal generatore sweep deve essere il più grande possibile. E' bene escludere il funzionamento dell'oscillatore locale durante questa operazione. La polarizzazione del circuito C.A.G. deve essere fissa ad un valore medio.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	TARATURA DELLA SEZIONE MEDIA FREQUENZA DI UN RICEVITORE TELEVISIVO	Tavola **25**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su esterno.

Durante la misura: Regolare i comandi di ampiezza verticale e orizzantale.

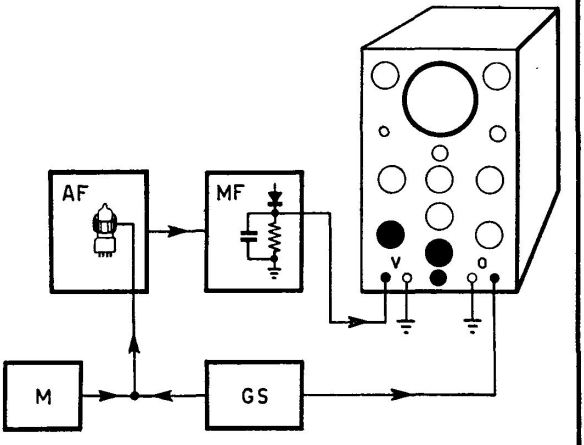
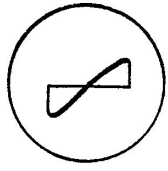
Interpretazione dell'immagine

L'immagine permette di stabilire quale gamma di frequenze viene amplificata in modo che regolando i vari nuclei e i trimmer si riesce a ottenere il massimo guadagno compatibile con la minima larghezza di banda passante.

Avvertenze

E' necessario ridurre l'ampiezza del segnale del generatore sweep ad evitare che il sistema entri in oscillazione. Bisogna dare una polarizzazione fissa e di valore medio al circuito C.A.G.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	TARATURA DEL DISCRIMINATORE	Tavola **26**

Inserzione dello strumento	Immagine dello schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse tempi su esterno.

Durante la misura: Regolare i comandi di ampiezza verticale e orizzontale.

Interpretazione dell'immagine

La forma d'onda permette di controllare come al variare della frequenza rispetto il valore centrale di 5,5 MHz si abbia all'uscita del discriminatore una tensione proporzionale positiva o negativa per un aumento o una diminuzione della frequenza.

Avvertenze

L'ampiezza della variazione di frequenza del generatore sweep deve essere piccola, dell'ordine di 250 kHz.

CAPITOLO XIII

OSSERVAZIONE DEI FENOMENI DI NATURA NON ELETTRICA

Si era già detto in precedenza che con l'oscilloscopio si possono osservare fenomeni di natura non elettrica ricorrendo all'impiego di opportuni trasduttori.

Con un microfono, ad esempio, si possono osservare le forme d'onda di suoni e rumori e determinarne la frequenza sia con la taratura esatta della base dei tempi sia, quando si disponga di uno strumento a doppia traccia oppure di un commutatore elettronico, proiettando contemporaneamente la traccia di un'onda di frequenza conosciuta.

Analogamente, impiegando una cellula fotoelettrica si possono ottenere delle indicazioni sull'intensità luminosa delle sorgenti, come ad esempio la fluttuazione di lampade al neon o ad incandescenza. In questo caso può essere interessante effettuare un paragone diretto con la tensione di alimentazione (su una seconda traccia), per conoscere il rapporto esistente fra variazione d'intensità luminosa e andamento della frequenza di alimentazione.

Tuttavia i fenomeni più importanti che si possono esaminare con l'oscilloscopio sono quelli di natura meccanica.

Osservazione di fenomeni meccanici.

La velocità di rotazione di motori od alberi in genere può essere determinata applicando all'organo in movimento un piccolo magnete bipolare oppure una ruota fonica (ruota dentata a denti con profilo rettangolare in ferro).

Nel primo caso il magnete viene posto fra le espansioni polari di un circuito magnetico avente un avvolgimento che si collega alle placche deviatrici dell'oscilloscopio. Nel secondo caso è sufficiente disporre vicino alla ruota fonica un rivelatore piezoelettrico (fig. 70).

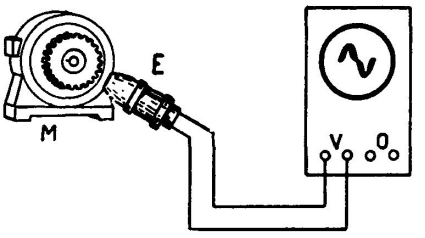


Fig. 70 - Rilievo della velocità di rotazione di un motore mediante una ruota fonica calettata sull'albero del motore ed un rivelatore piezoelettrico. (Il rivelatore piezoelettrico è stato disegnato con proporzioni esagerate per evidenti ragioni di dettaglio, in altri termini per richiamare immediatamente l'attenzione su di esso).

M - Motore in esame
E - Pick-up esploratore
V - Morsetti placche verticali

Questi due trasduttori generano una tensione la cui frequenza corrisponde rispettivamente al numero di giri/secondo nel primo caso e ai giri/secondo moltiplicato per il numero dei denti della ruota nel secondo.

E' quindi sufficiente il confronto con una frequenza nota (sia usando la doppia traccia, la base dei tempi tarata oppure le figure di Lissajous) per risalire alla velocità di rotazione.

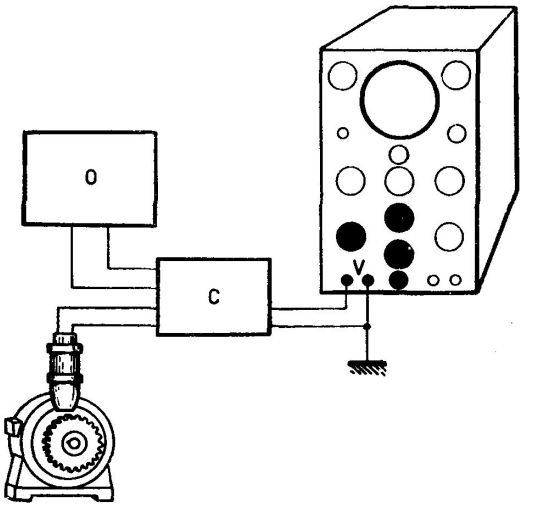
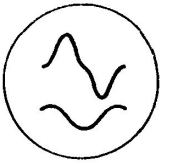
Un altro importante campo di applicazione è quello delle vibrazioni meccaniche di alberi, barre, lastre, ecc., che vengono raccolte per mezzo di un rivelatore piezoelettrico posto in vicinanza dell'oggetto vibrante in esame.

Per la determinazione della frequenza propria di vibrazione di un corpo metallico, si può impiegare un vibratore elettro-meccanico, eccitato da un generatore a frequenza variabile, che pone in vibrazione il corpo accanto al quale è posto il rivelatore collegato all'oscilloscopio. Variando la frequenza di eccitazione si troverà un massimo del segnale nell'oscilloscopio in corrispondenza alla risonanza dell'oggetto in esame.

Efficienza del collettore di un motore.

Per quanto la prova non sia di carattere strettamente meccanico, tuttavia riteniamo opportuno riportare nella tavola 31 (pag. 114) come si effettua l'esame dell'efficienza del collettore di un motore. D'altra parte, la regolarità di funzionamento di un collettore è strettamente legata alle condizioni meccaniche della sua superficie, all'esatta pressione delle spazzole, ecc., ed è pertanto giustificato inserire questa prova fra quelle meccaniche. La chiarezza dello schema indicato nella tavola 31 ci dispensa da ulteriori spiegazioni.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DETERMINAZIONE DELLA VELOCITA' DI UN MOTORE	Tavola **27**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
 f = frequenza letta sull'oscillatore n = numero denti della ruota fonica	 $V = \frac{f}{n}$

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Regolare il commutatore di frequenza su un valore corrispondente ai giri/sec che si presume debba compiere il motore moltiplicati per il numero dei denti della ruota fonica.

Se non si dispone di oscilloscopio a doppia traccia, impiegare un commutatore elettronico per portare sullo schermo contemporaneamente la frequenza generata da un oscillatore tarato e quella dovuta al rivelatore elettromagnetico posto in vicinanza della ruota fonica collegata al motore in esame.

Durante la misura: Regolare la frequenza dell'asse dei tempi in modo da stabilizzare l'immagine prodotta dal rivelatore elettromagnetico. Successivamente variare la frequenza emessa dall'oscillatore fino a portarla in sincronismo con la precedente.

Interpretazione dell'immagine

Il rivelatore elettromagnetico genera una f.e.m. di frequenza uguale al numero di denti che gli passano davanti per ogni secondo. Quindi la velocità del motore sarà data da: $V = f/n$ dove f è la frequenza in Hz della tensione che compare sullo schermo ed n il numero di denti della ruota fonica. Per conoscere f con esattezza si confronta la traccia con la sinusoide generata da un oscillatore tarato: quando le due curve sullo schermo sono uguali si legge f sulle manopole dell'oscillatore.

Avvertenze

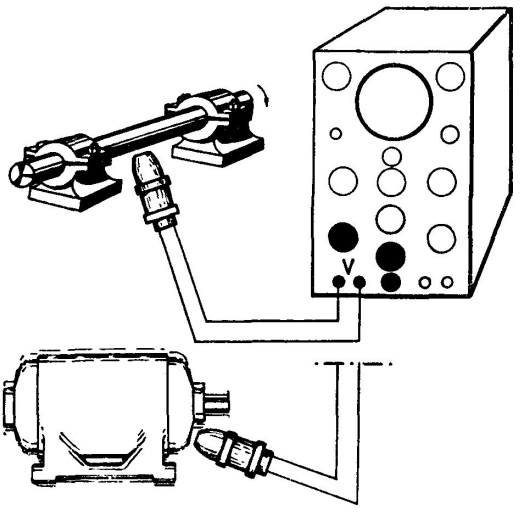
E' opportuno collegare a una terra esterna il morsetto di massa delle placche verticali per evitare il formarsi di tensioni rispetto alle apparecchiature esterne.

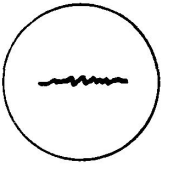
Se al posto della ruota fonica si impiega un disco eccentrico calettato sul motore, la frequenza letta indica direttamente la velocità.

La f.e.m. generata dal rivelatore elettromagnetico deve essere notevolmente amplificata poichè è molto debole.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	VIBRAZIONI DI UNA MACCHINA	Tavola **28**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo





Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* Si regola la frequenza su un valore corrispondente alla velocità di rotazione della macchina in esame. Portare il commutatore *Ampiezza* V verso il massimo.

Durante la misura: Regolare la frequenza in modo che sia in perfetto sincronismo con la velocità della macchina.

Interpretazione dell'immagine

Il rivelatore elettromagnetico trasforma eventuali vibrazioni meccaniche della macchina in variazioni di f.e.m. che provocano dentellature o vibrazioni nella traccia.

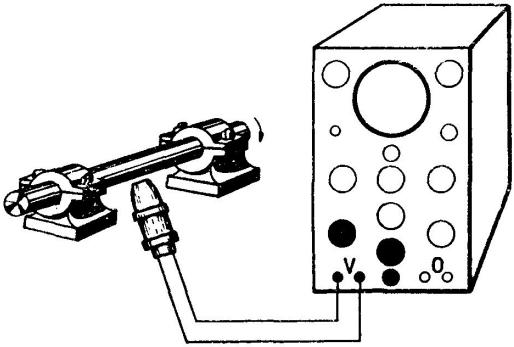
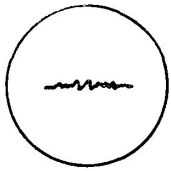
Spostando il rivelatore si può esaminare ogni parte della macchina soggetta a vibrazioni.

Avvertenze

Il comando *Ampiezza* V deve essere tenuto al massimo perchè le f.e.m. generate sono molto piccole.

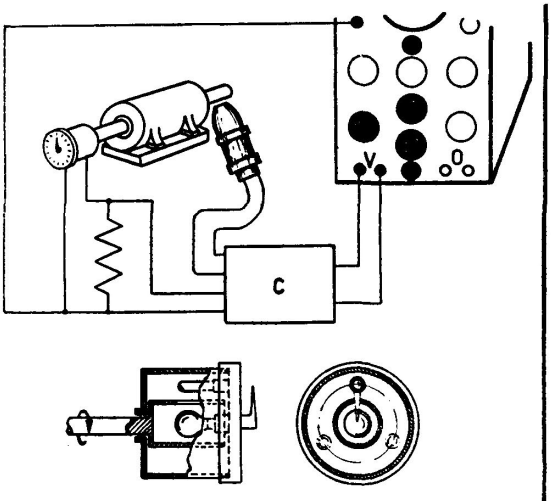
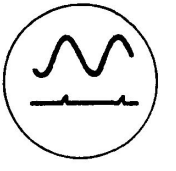
Il risultato si può anche ottenere con rivelatori elettrostatici a capacità variabile. In questo caso occorre allora impiegare un modulatore che generi la frequenza portante di alimentazione del sistema.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	VELOCITA' DI RISONANZA O CRITICA DI UNA MACCHINA	Tavola **29**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi	Come nell'esperienza precedente.
Interpretazione dell'immagine	Variando la velocità della macchina si osserva il momento nel quale le vibrazioni raggiungono un massimo, in corrispondenza di una velocità critica. La velocità corrisponde alla frequenza generata dall'asse dei tempi quando sullo schermo si ha un solo ciclo di vibrazioni e l'immagine rimane perfettamente ferma. Spostando assialmente il rivelatore si possono determinare i nodi e i ventri della vibrazione flessionale di risonanza.
Avvertenze	Come nell'esperienza precedente.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	DETERMINAZIONE DELLA FASE DI FENOMENI VIBRATORI SU ORGANI ROTANTI	Tavola **30**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int*, regolare la frequenza sulla base della velocità dell'organo rotante. Il rivelatore elettromagnetico si colloca presso il punto in esame. L'indicatore di fase gira collegato all'organo ruotante. Esso genera una traccia sull'oscilloscopio e dà anche il segnale di sincronismo (commutatore di sincronismo su *Est*).

Durante la misura: Ruotare l'indice dell'indicatore di fase finchè la punta che appare sull'oscilloscopio coincide con la parte che interessa dell'altra traccia.

Interpretazione dell'immagine

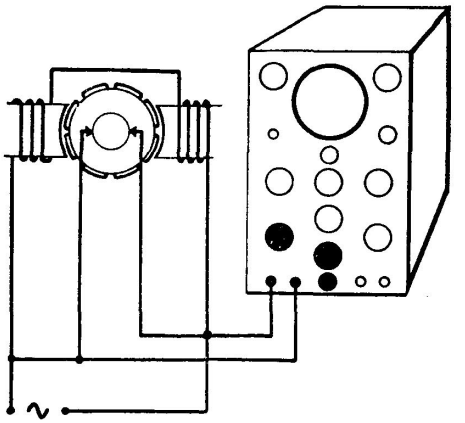
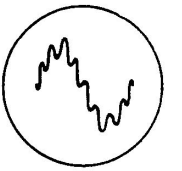
L'indicatore di fase è costituito da un cilindro rotante con una fessura, attraverso la quale ad ogni giro passa un raggio di luce emesso da una lampada posta sul suo asse. Esternamente c'è una cellula fotoelettrica che può essere ruotata a mano spostando l'indice graduato. Ad ogni giro la cellula emette un impulso di tensione quando viene colpita dal fascio di luce che attraversa la fessura. Ruotando la cellula, il picco sulla traccia si sposta in senso orizzontale e tale picco si trova in corrispondenza del punto dell'altra traccia che viene prodotto dalla parte di albero posta davanti al rivelatore nel momento in cui la fessura illumina la cellula.

Spostando l'indice fino a far coincidere il picco con la parte della traccia che interessa si può determinare in quale punto l'albero la genera (Ad esempio si può sapere la direzione di una eventuale eccentricità dell'albero).

Avvertenze

Prima della misura controllare la corrispondenza fra la posizione dell'albero e la fessura dell'indicatore per poter conoscere con sicurezza la deviazione angolare fra questo punto e quello che si vuole esaminare.

Oscilloscopio raggi catodici — *Elettronica*	VERIFICA DELL'EFFICIENZA DI UN COLLETTORE	Tavola **31**

Inserzione dello strumento	Immagine sullo schermo
	

Disposizione dei comandi

Prima della misura: Portare il commutatore asse dei tempi su *Int.* La frequenza deve essere quella di rete. Il commutatore di sincronismo è sulla posizione *Int* o *Rete* se l'alimentazione dell'oscilloscopio è comune al motore.

Durante la misura: Regolare l'*Ampiezza* V.

Interpretazione dell'immagine

La tensione alternata di rete appare frastagliata da punte corrispondenti allo scintillio del collettore.

Se il motore ha raggiunto la velocità di sincronismo le punte sono fisse rispetto la sinusoide, altrimenti scorrono all'indietro.

Avvertenze

Può essere consigliabile effettuare l'alimentazione del motore con l'intermediario di un trasformatore di accoppiamento.

INDICE DEGLI ARGOMENTI

Introduzione 3

CAP. I – **Oscilloscopi elettrodinamici** 5

CAP. II – **Il tubo a raggi catodici** 9
Coppie di placche di deflessione 11
Controllo della luminosità 18
Concentrazione del raggio elettronico 18

CAP. III – **Caratteristiche dei tubi a raggi catodici** 21
Catodo 21
Elettrodi concentratori e placche deflettrici 22
Bulbo di vetro e zoccolo 22
I fosfori del cinescopio 26
Tubi oscilloscopici a più tracce 27
Tubi oscilloscopici con memoria 29

CAP. IV – **Asse dei tempi** 31
Bande di frequenza e campi di misura 34

CAP. V – **Costituzione di un oscilloscopio** 35
Alimentazione 35
Amplificazione 36
La scansione orizzontale 38
Scansione ritardata e ritardante 39
Campionamento del segnale 40

CAP. VI – **Uso dell'oscilloscopio** 41
Comandi e collegamenti di un oscilloscopio 41
Come si usa un oscilloscopio 46

CAP. VII – **Apparecchiature ausiliarie degli oscilloscopi** 52
Commutatore elettronico 52
Generatore di segnale tarato 53
Generatore della base dei tempi 54
Apparecchiature per la registrazione oscilloscopica 55

CAP. VIII – **Misure di tensione e di corrente con l'oscilloscopio** ... 58
Misure di tensione 58
Misure di corrente 59

CAP. IX – **Misure di frequenza, fattore di potenza e di rifasamento con l'oscilloscopio** 63
Misure di frequenza 63
Misure del tempo 73
Misure del fattore di potenza e dello sfasamento 73

CAP. X – **Misure di impedenza e delle caratteristiche magnetiche dei materiali ferrosi** 82
Misure di impedenza 82
Caratteristiche magnetiche dei materiali ferrosi 84

CAP. XI – **Misure di elettronica e radiotecnica** 87
Rilievo delle curve di risonanza 87
Misure sugli amplificatori 88
Allineamento dei radioricevitori 89
Misure di modulazione sui radioricevitori 90

CAP. XII – **Taratura e controllo di ricevitori televisivi** 99
Taratura del gruppo alta frequenza 99
Taratura dell'amplificatore di media frequenza 101
Sezione audio 102
Amplificatore video 102
Separatore sincronismi 103
Oscillatore orizzontale 103
Oscillatore verticale 104

CAP. XIII – **Osservazione dei fenomeni di natura non elettrica** 108
Osservazione dei fenomeni meccanici 108
Efficienza del collettore di un motore 109

ELETTRONICA

A Bandini Buti - V. Re - **Oscillografo a raggi catodici: costruzione ed impiego pratico.**
P. L. Cerato - **Tubi elettronici nell'industria.**
P. L. Cerato - **Circuiti fondamentali dell'elettronica industriale.**
E. Mazza - **Diodi al germanio ed al silicio.**
E Mazza - **Transistori.**
P L Cerato - **Amplificatori magnetici.**
C. Borgonovo - **Regolazione automatica.**
E. Gelder - **I transistori nei circuiti di commutazione.**
R. Swoboda - **Thyristor.**
M Flego - **Controllo numerico delle macchine utensili.**
K Apel - **Circuiti elettronici di conteggio.**
V. J. Karpov - **I transistori nei circuiti di stabilizzazione.**
G. Figini - **I circuiti logici statici e le loro applicazioni negli azionamenti industriali.**
V. Vivona - **Gli elaboratori elettronici.**
E Gelder - W. Hirschmann - **Applicazioni pratiche dei semiconduttori.**
- **Esempi di circuiti transistorizzati.**

GALVANOTECNICA

C. Clerici - **Gli accumulatori elettrici.**
E. Giudici - **Impianti galvanotecnici.**
L. Bresciani - **L'ossidazione anodica dell'alluminio.**
G. Mastai - **Formule e dati pratici per galvanotecnica.**

ELETTRAUTO

A. Bandini Buti - **Gli impianti elettrici delle autovetture.**
A. Bandini Buti - **Gli schemi elettrici delle autovetture.**
A. Bandini Buti - **I guasti nell'impianto elettrico delle autovetture.**

MECCANICA

E. Cometta - **Resistenza ai materiali.**
F. Pasqualini - **Tracciatura d'officina.**
M. Lensi - **Saldatura ossiacetilenica.**
C. Clerici - **Disegno tecnico: problemi fondamentali grafici e geometrici.**
C. Clerici - **Convenzioni del disegno tecnico e degli organi delle macchine.**

TELEFONIA

F. Lucantonio - **Teoria e tecnica dei circuiti di commutazione telefonici.**
M. Gandais - A. Sanneris - **Principi di traffico telefonico** (opera in due volumi).
M. Luceri - **Il telefono.**

segue in quarta di copertina

IMPIANTI ELETTRICI

W. Forlani — **Gli impianti elettrici e le norme di legge.**

F. Bottio - L. Sottani — **La protezione contro i contatti elettrici accidentali.**

G. Paleari — **Rifasamento degli impianti elettrici industriali.**

R. Costa — **Il calcolo delle correnti di corto circuito negli impianti elettrici.**

C. Clerici — **Illuminotecnica - Progetto e calcolo degli impianti di illuminazione.**

C. Clerici — **Illuminotecnica - Le sorgenti di luce.**

E. Coppi — **Le cabine di trasformazione per impianti industriali e civili.**

C. Clerici — **La messa a terra degli impianti elettrici.**

G. Pagani — **Linee elettriche aeree per bassa e media tensione.**

E. Cometta — **Magneti permanenti.**

L. Cibrario — **Raddrizzatori a semiconduttori (all'ossido di rame, al selenio, al germanio, al silicio).**

E. Mazza — **Il relè tipo telefonico nell'industria.**

P. L. Cerato — **Manutenzione delle apparecchiature elettriche.**

G. Dassetto — **L'alluminio nell'elettrotecnica.**

G. Figini — **Equipaggiamenti elettrici industriali.**

G. Colli Lanzi — **Alberi elettrici.**

C. Clerici — **Segnalazioni elettriche nell'industria e nella comunità.**

L. F. Bottio — **La corrosione delle canalizzazioni interrate**

R. Casagrande - C. Clerici — **Parafulmini.**

G. Schönberg — **Orologi elettrici.**

V. Re — **Installazione delle macchine elettriche rotanti.**

V. Re — **Manutenzione delle macchine elettriche rotanti.**

G. Paleari — **Installazione e manutenzione dei trasformatori industriali.**

G. Perone — **I contattori e loro applicazioni.**

G. Clerici — **Che cos'è e come si installa un televisore.**

A. Bossi - E. Sesto — **Gli scaricatori di sovratensione: criteri di scelta e di impiego.**

U. Scipione — **Impianti elettrici negli aeroporti - Segnalazioni luminose.**

R. Roeper — **Le correnti di corto circuito nelle reti elettriche trifasi.**

L. Salvati — **Progettazione e calcolo degli elettromagneti.**

E. Coppi — **La costruzione delle cabine di trasformazione.**

E. Sesto — **I cavi per energia.**

A. Bossi - E. Sesto — **Interruttori per impianti elettrici di potenza.**

G. Abete — **L'ascensore elettrico.**

A. Bossi - E. Sesto — **Impianti elettrici.**

Lire **2000**

(1886)